



Peut-on concilier lutte contre le changement climatique et lutte contre l'érosion de la biodiversité ?

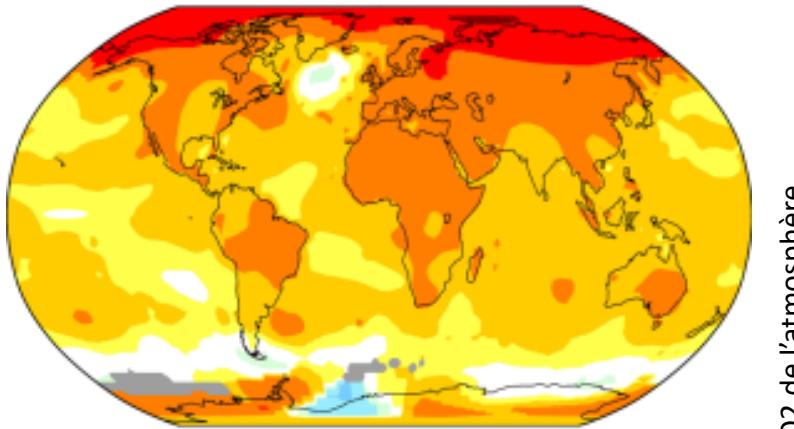
Aurélien BESNARD

aurelien.besnard@cefe.cnrs.fr

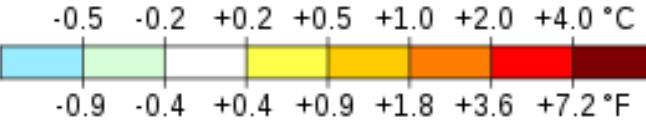
Centre d'Ecologie Fonctionnelle et Evolutive

Changement climatique et énergies fossiles

Changement de température lors des 50 dernières années



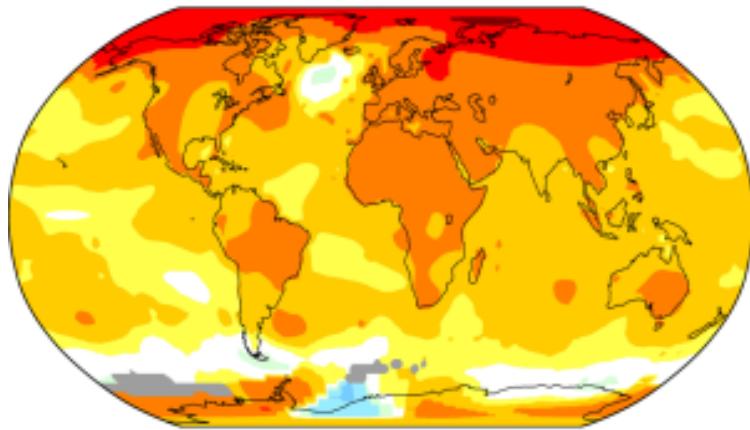
moyenne 2011-2020 vs référence 1951-1980



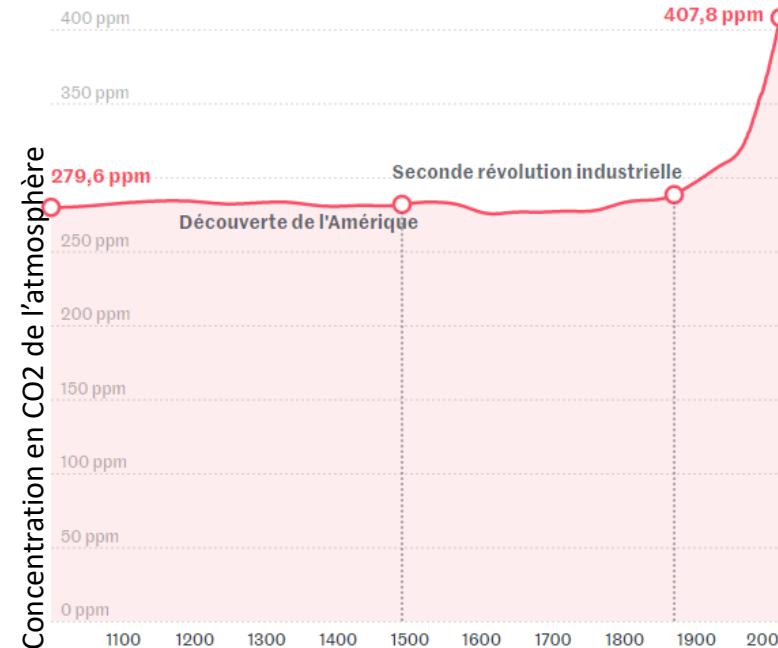
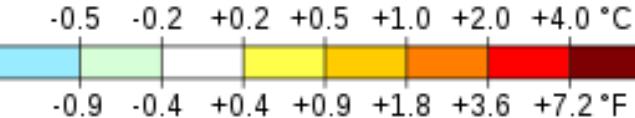
Concentration en CO₂ de l'atmosphère

Changement climatique et énergies fossiles

Changement de température lors des 50 dernières années



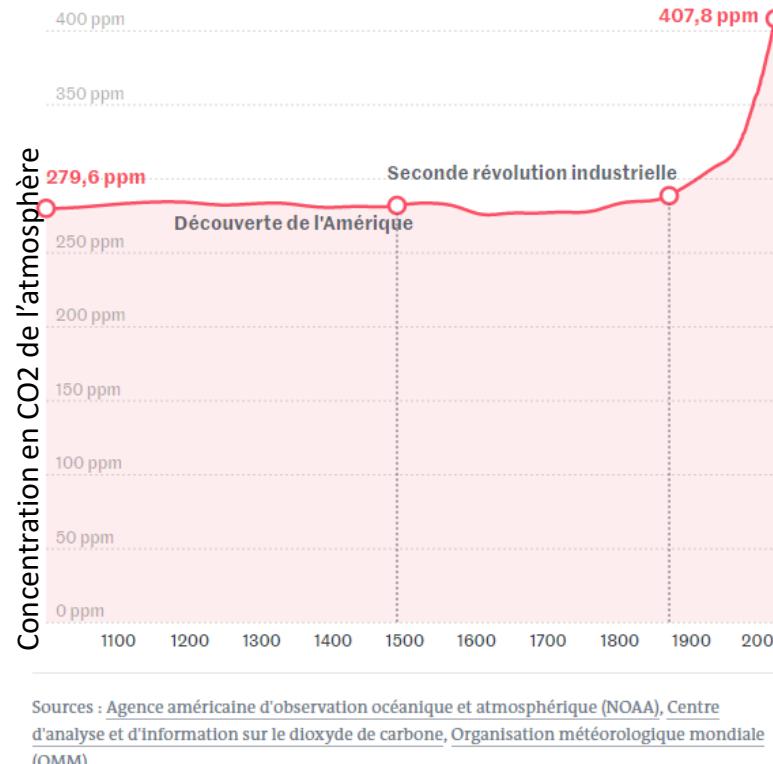
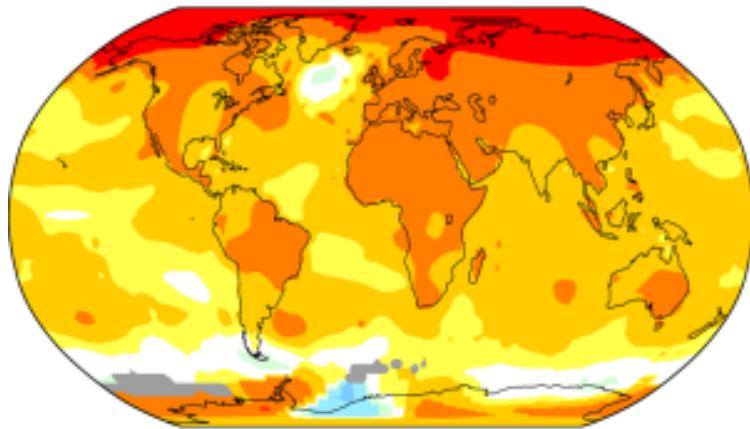
moyenne 2011-2020 vs référence 1951-1980



Sources : [Agence américaine d'observation océanique et atmosphérique \(NOAA\)](#), [Centre d'analyse et d'information sur le dioxyde de carbone](#), [Organisation météorologique mondiale \(OMM\)](#)

Changement climatique et énergies fossiles

Changement de température lors des 50 dernières années



Paris 2015: Accords internationaux pour réduire les émissions de gaz à effet de serre
Neutralité carbone en 2050

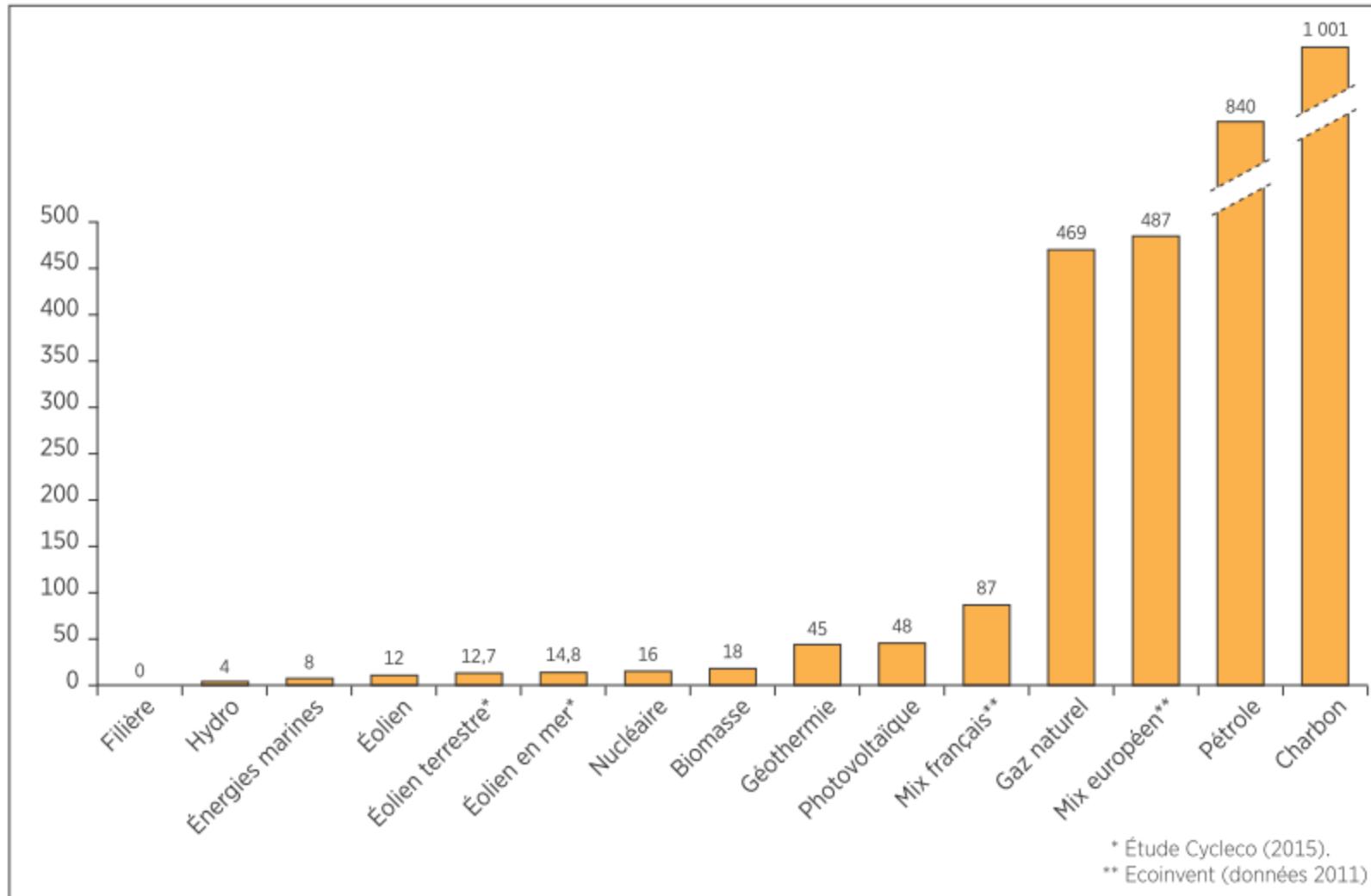
Programmation pluriannuelle de l'énergie

La loi sur la transition énergétique (TECV, 2015) :

- réduire les émissions de gaz à effet de serre de 40 % entre 1990 et 2030 et diviser par quatre ces émissions entre 1990 et 2050;
- réduire la consommation énergétique finale de 50 % en 2050 par rapport 2012 en visant un objectif intermédiaire de 20 % en 2030 ;
- réduire la consommation énergétique primaire d'énergies fossiles de 30 % en 2030 par rapport à 2012 ;

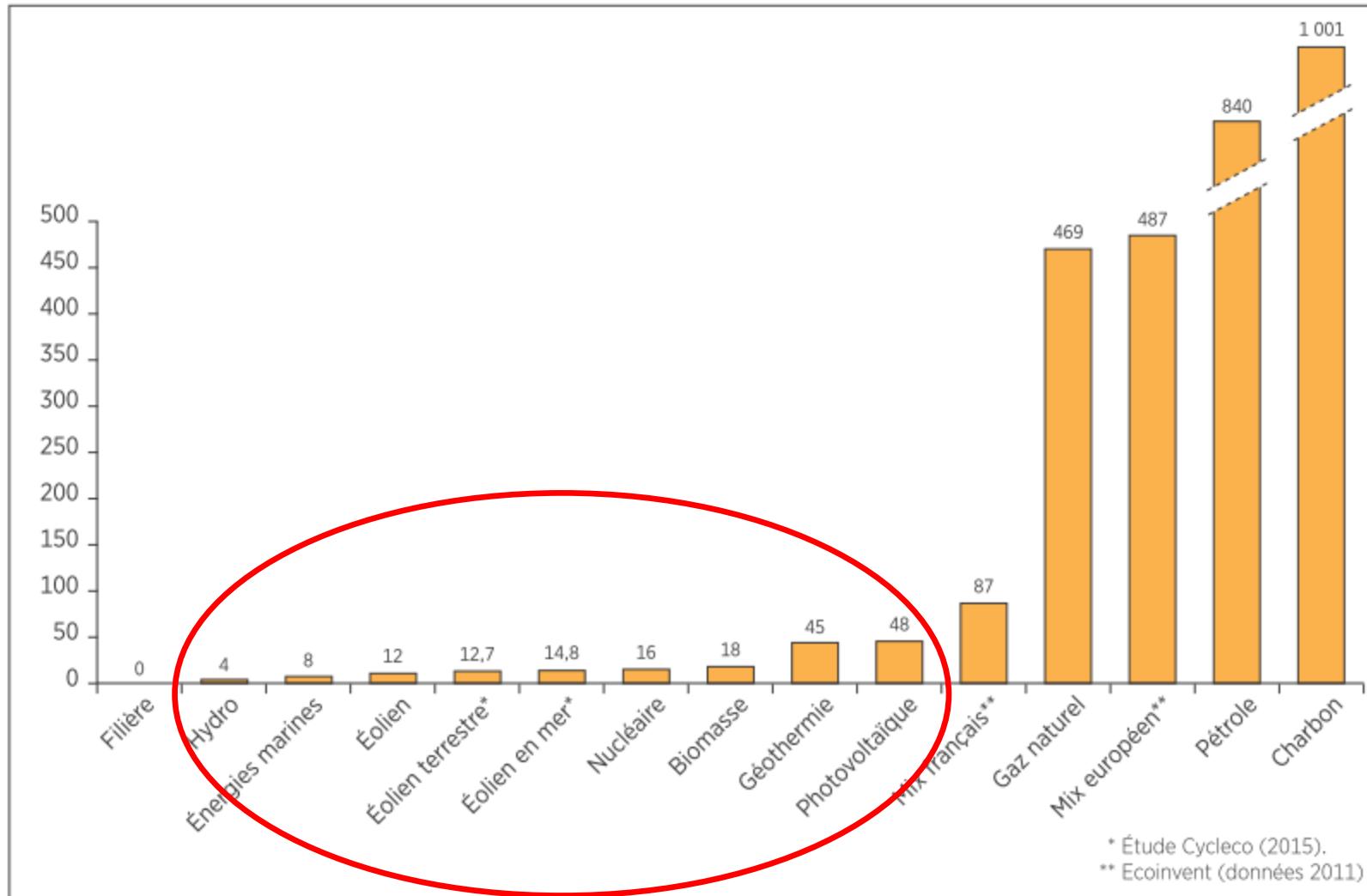
Les ENRs au cœur de la transition énergétique

Figure 6 – Taux d'émission de gaz à effet de serre, en gCO₂/kWh (GIEC, 2011 ; Ecoinvent, 2011 ; Cycleco, 2015)



Les ENRs au cœur de la transition énergétique

Figure 6 – Taux d'émission de gaz à effet de serre, en gCO₂/kWh (GIEC, 2011 ; Ecoinvent, 2011 ; Cycleco, 2015)

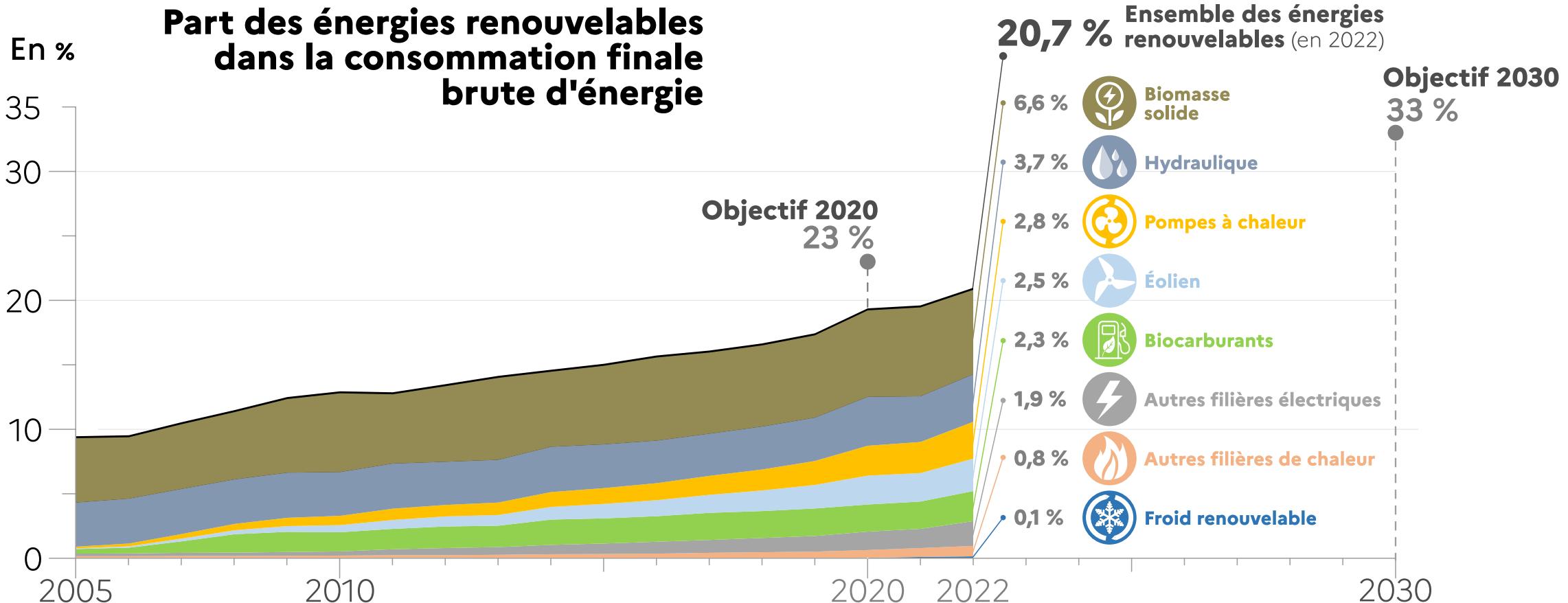


Les sources d'énergie renouvelable



Accords de Paris et énergies renouvelables

Le développement des énergies renouvelables (et la réduction de la consommation d'énergie) est crucial pour atteindre les objectifs des accords de Paris.



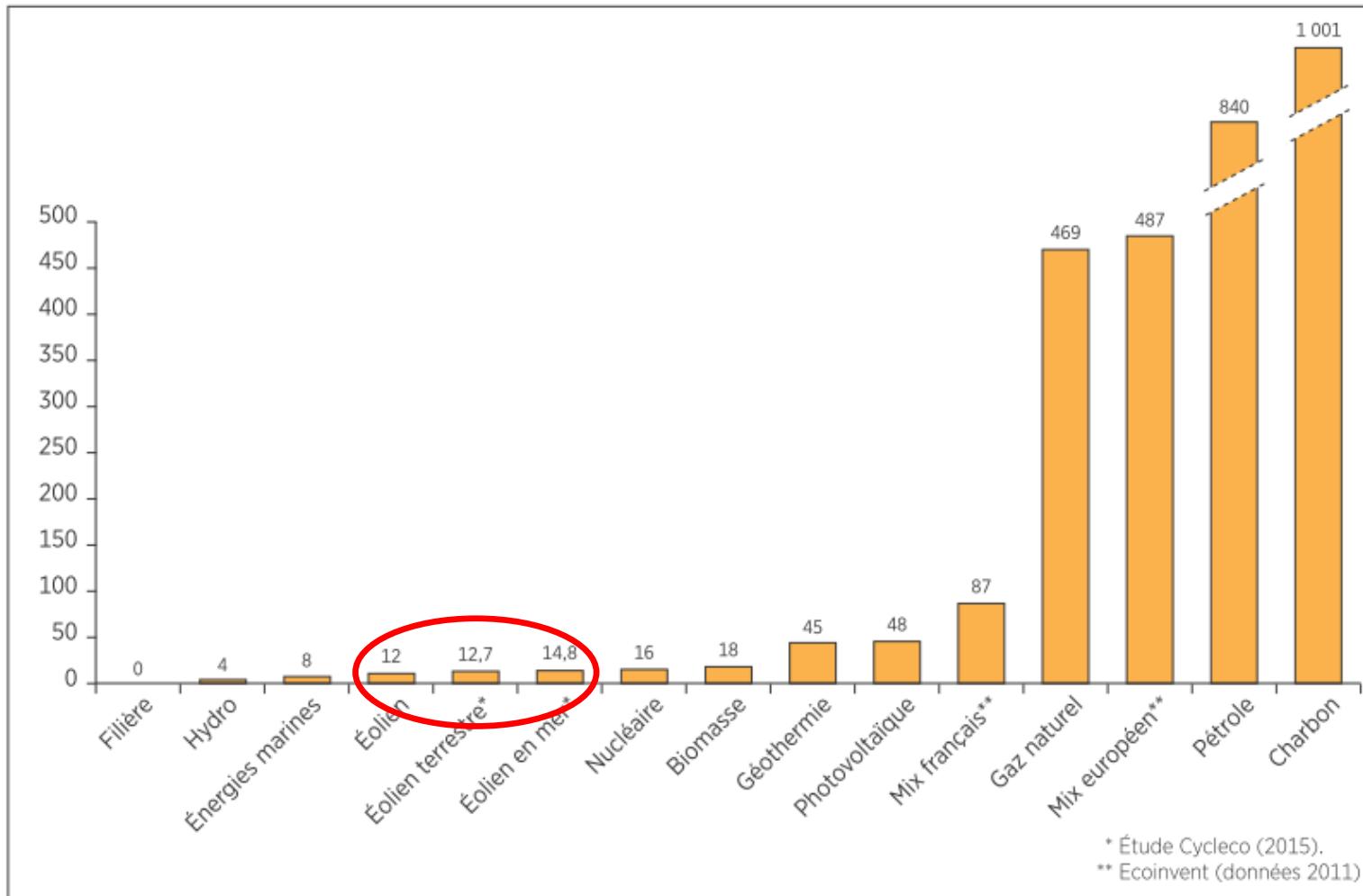
Stratégie nationale pour l'énergie et le climat

Présentée le 22 novembre 2023 suite à une amende de 500 millions de l'Union européenne pour son retard sur ses engagements précédents de déploiement des renouvelables.

- La vitesse de déploiement du photovoltaïque doit être doublée ainsi que celle des réseaux de chaleur ; celle de la géothermie devra quadrupler.
- Eolien terrestre doublé en 2028, éolien en mer 18 GW en 2035...

Les ENRs au cœur de la transition énergétique

Figure 6 – Taux d'émission de gaz à effet de serre, en gCO₂/kWh (GIEC, 2011 ; Ecoinvent, 2011 ; Cycleco, 2015)



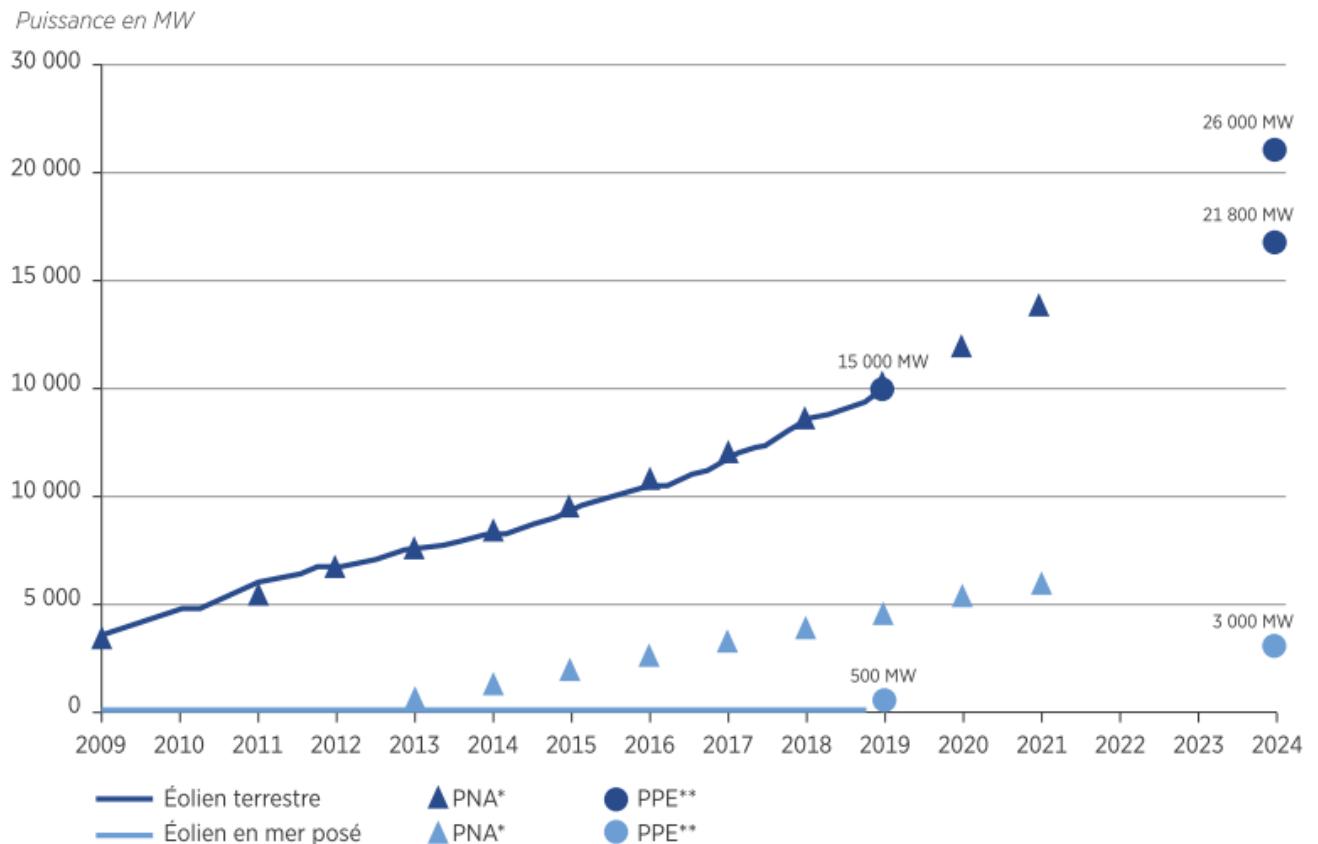
Eolien : Énergie parmi les plus intéressantes en termes d'émissions CO2

Le développement de l'éolien terrestre

En 2021 :

~ 8400 turbines dans 1450 parcs éoliens → 17,2 GW

Objectif : multiplication par 2 d'ici 2028.



Le développement de l'éolien en mer

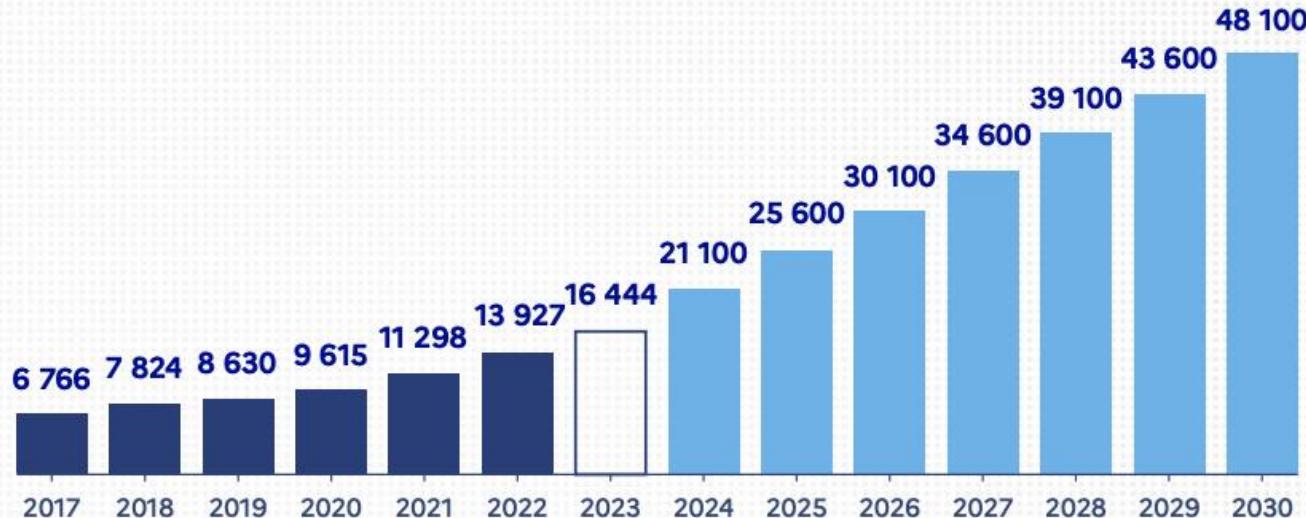
- Actuellement trois parcs en service pour environ 1,5 GW;
- Objectif de 50 parcs en service pour 40 GW installés en 2050
(discours du président de la République à Belfort le 10 février 2022) ;
- Objectif de **2 GW attribués par an à partir de 2025** et de **20 GW attribués en 2030** (*pacte entre l'Etat et la filière de mars 2022*).

Le photovoltaïque

ENR ÉLECTRIQUES

Puissance cumulée installée de production électrique d'origine solaire, en Megawatt (MW).

Objectif de baisse 2019-2030 : 5,5 MtCO2eq



Source : SDES. Données 2023 à fin mai. Périmètre : métropole et outre-mer

Le gouvernement veut atteindre 48,1 GW de capacité PV en 2030 et 140 GW d'ici 2050

La crise d'érosion de la biodiversité

En plus du changement climatique, les sociétés humaines font face à une autre crise toute aussi importante:

L'érosion de la biodiversité

Qu'est-ce que la biodiversité ?

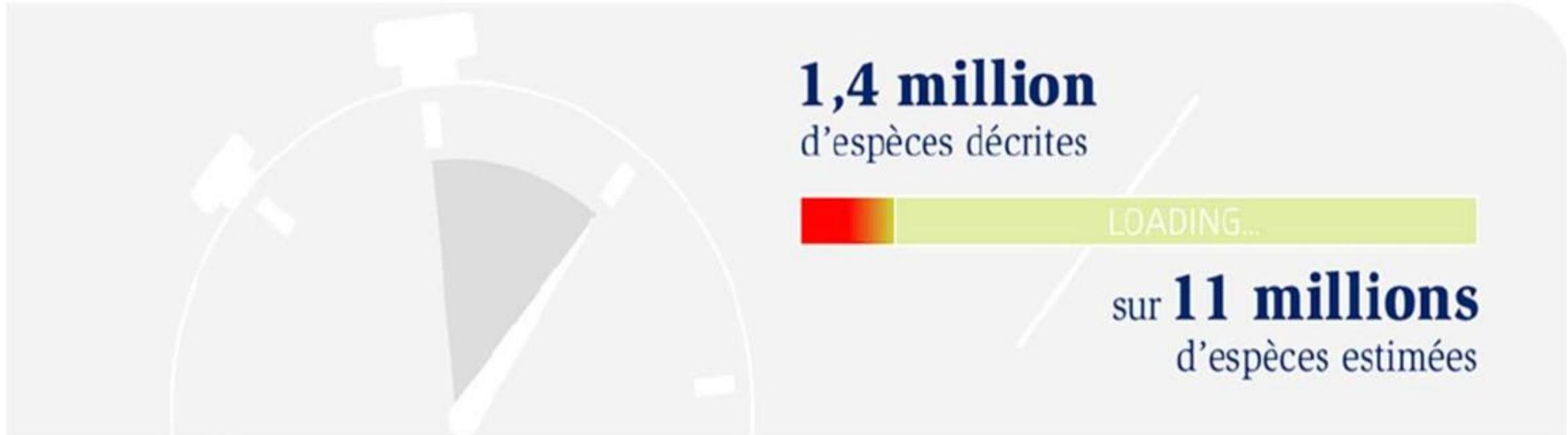
Le terme **biodiversité** est la contraction de **diversité biologique**;

Il désigne la diversité de toutes les formes du vivant;

Historiquement, ce terme a été formalisé lors de la **Convention sur la Diversité Biologique** du sommet de la Terre de Rio en 1992;

Il désigne communément les trois grandes échelles de la diversité biologique : écosystémique, spécifique, génétique.

Une connaissance (très) imparfaite de la biodiversité



La biodiversité est dynamique

La biodiversité n'est pas figée;

Les espèces évoluent, elles se déplacent en réponse à des changements dans leur environnement, elles disparaissent de zones et en colonisent d'autres;

La biodiversité change en permanence dans le temps et dans l'espace et cela aux trois niveaux (écosystèmes, espèces, génétique).

La 6ème crise d'extinction de la biodiversité

Comme la biodiversité est dynamique, il est normal que des espèces s'éteignent.

On peut estimer le taux d'extinction d'espèces qu'il y a eu au cours du passé grâce aux fossiles.

En plus du “bruit de fond” du taux normal d'extinctions, la biodiversité a traversé cinq crises d'extinctions de masse au cours desquelles les extinctions étaient très nombreuses.

La 6ème crise est en cours et elle est bien plus rapide que les précédentes.

La 6ème crise d'extinction de la biodiversité

Le taux d'extinction d'espèces augmente rapidement

Normal : ~10 extinctions d'espèces / an

1600 à 1950 : ~100 / an

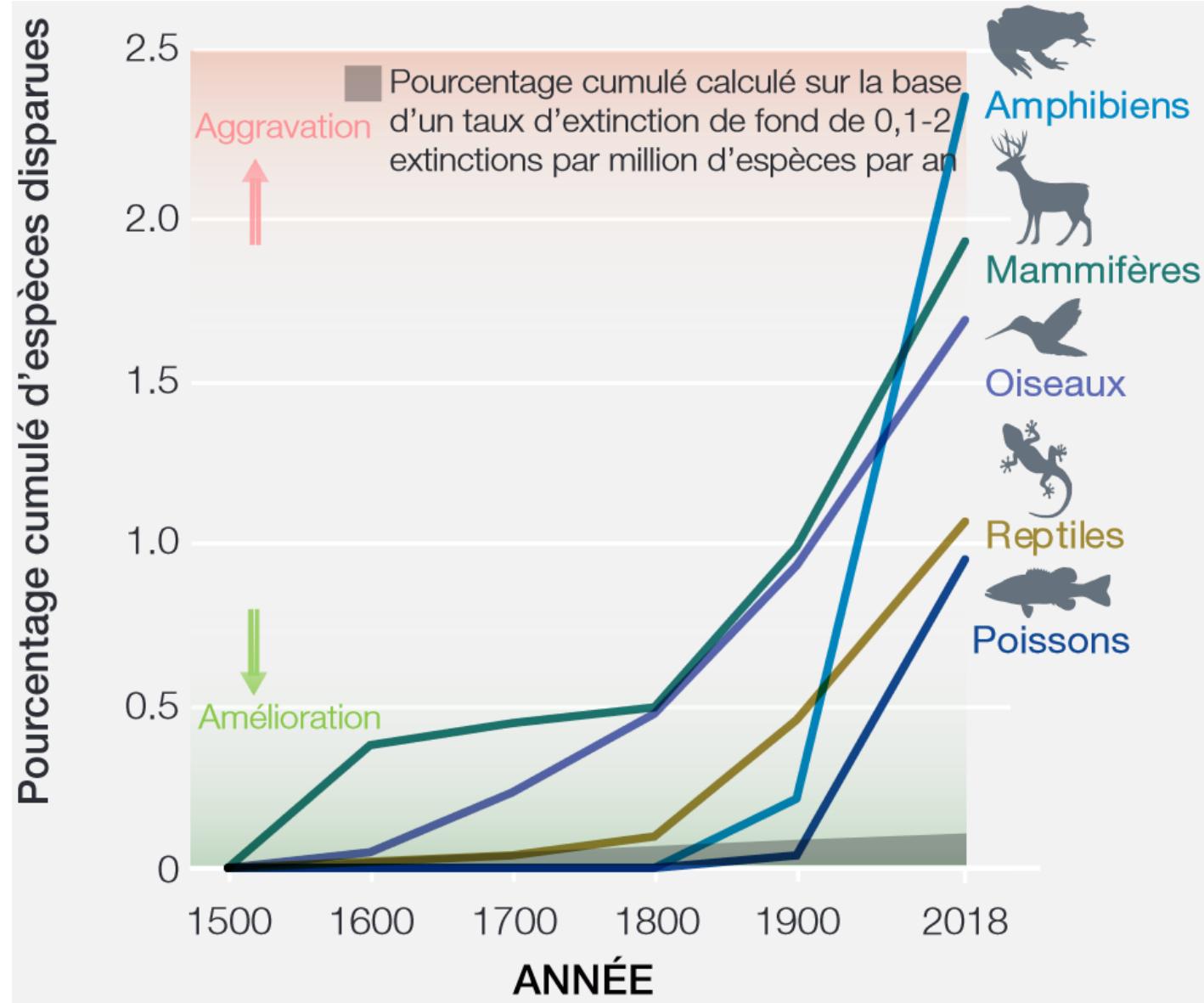
Aujourd'hui : ~1000 / an

Estimé pour dans quelques années : ~10000 / an

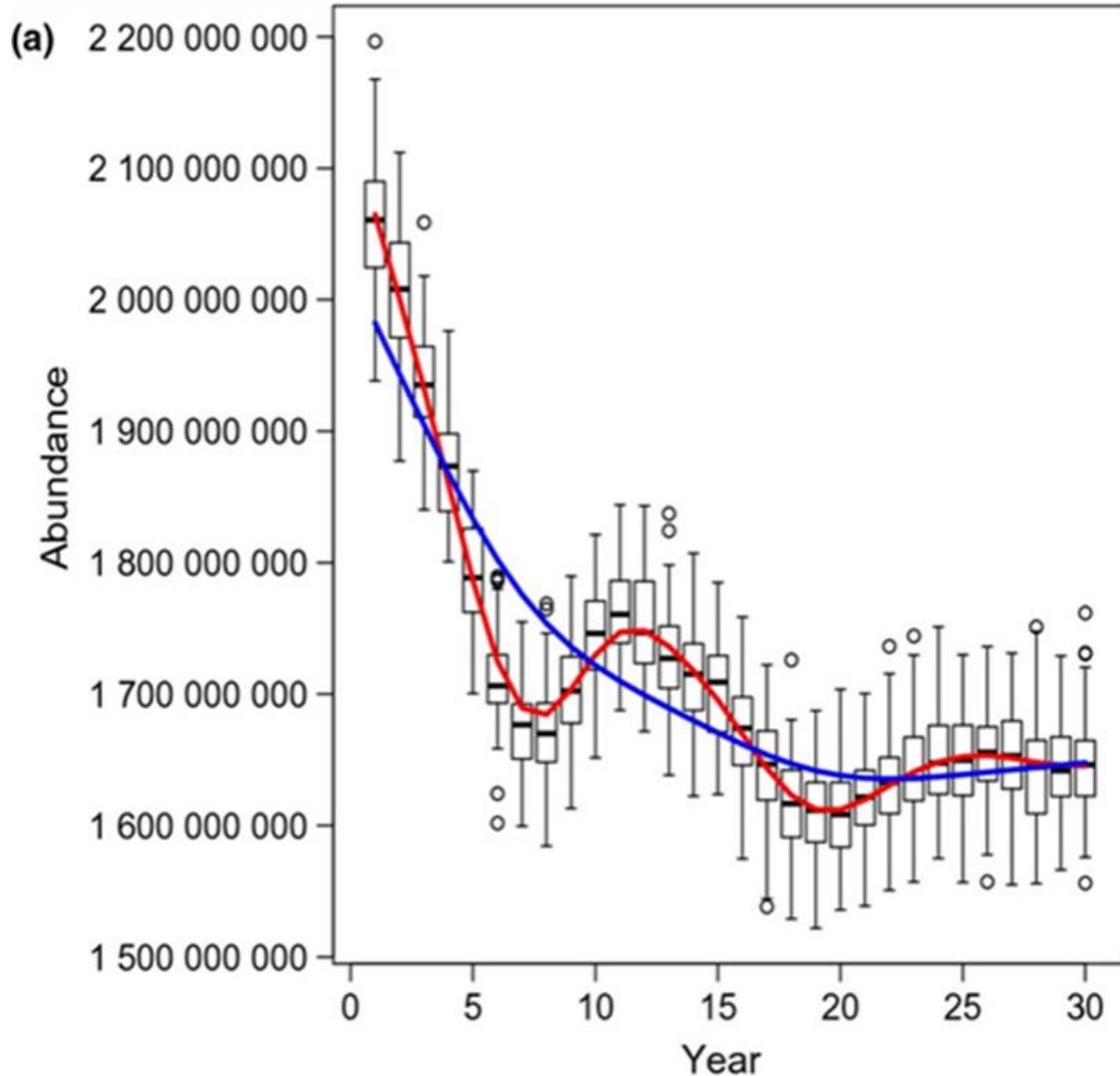
C'est donc entre **100 et 1000 fois** plus que la normale.

En comparaison, le rythme d'apparition d'espèces ne change pas, le nombre d'espèces est donc en déclin.

La 6ème crise d'extinction de la biodiversité



Chute des populations d'oiseaux en Europe

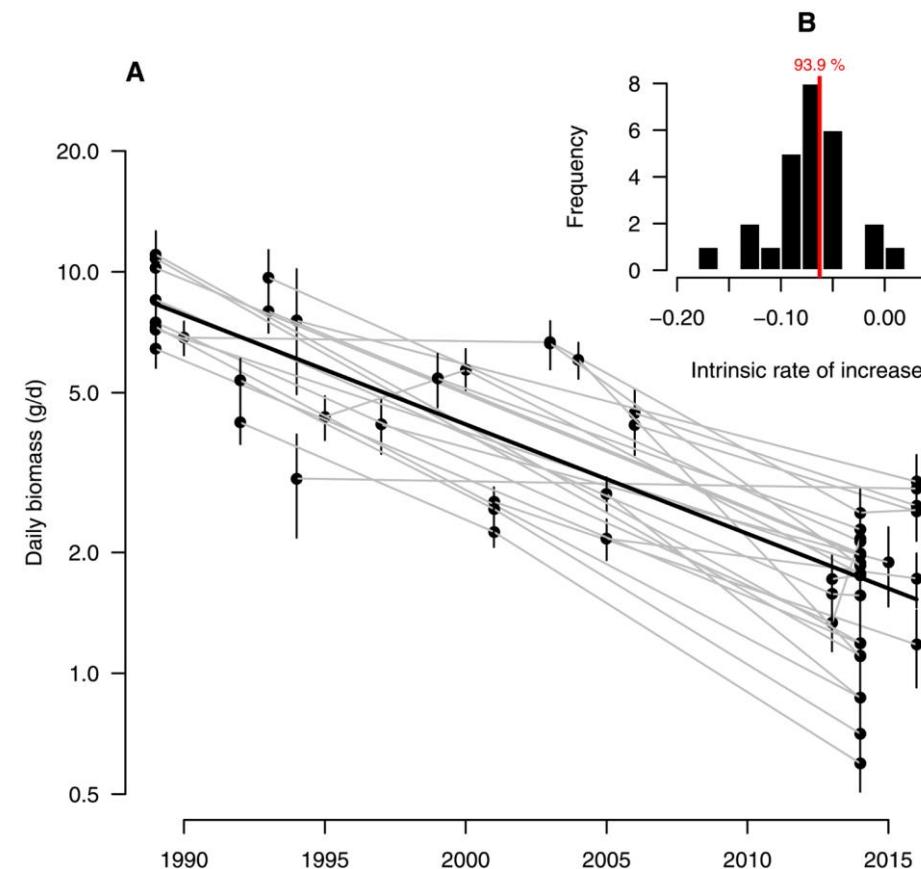


500 millions d'oiseaux perdus
entre 1980 et 2009 en Europe.

800 millions aujourd'hui.

Chute des populations d'insectes

Les populations d'insectes ont diminué de 70 à 80 % dans les paysages européens.



PLOS ONE

OPEN ACCESS PEER-REVIEWED

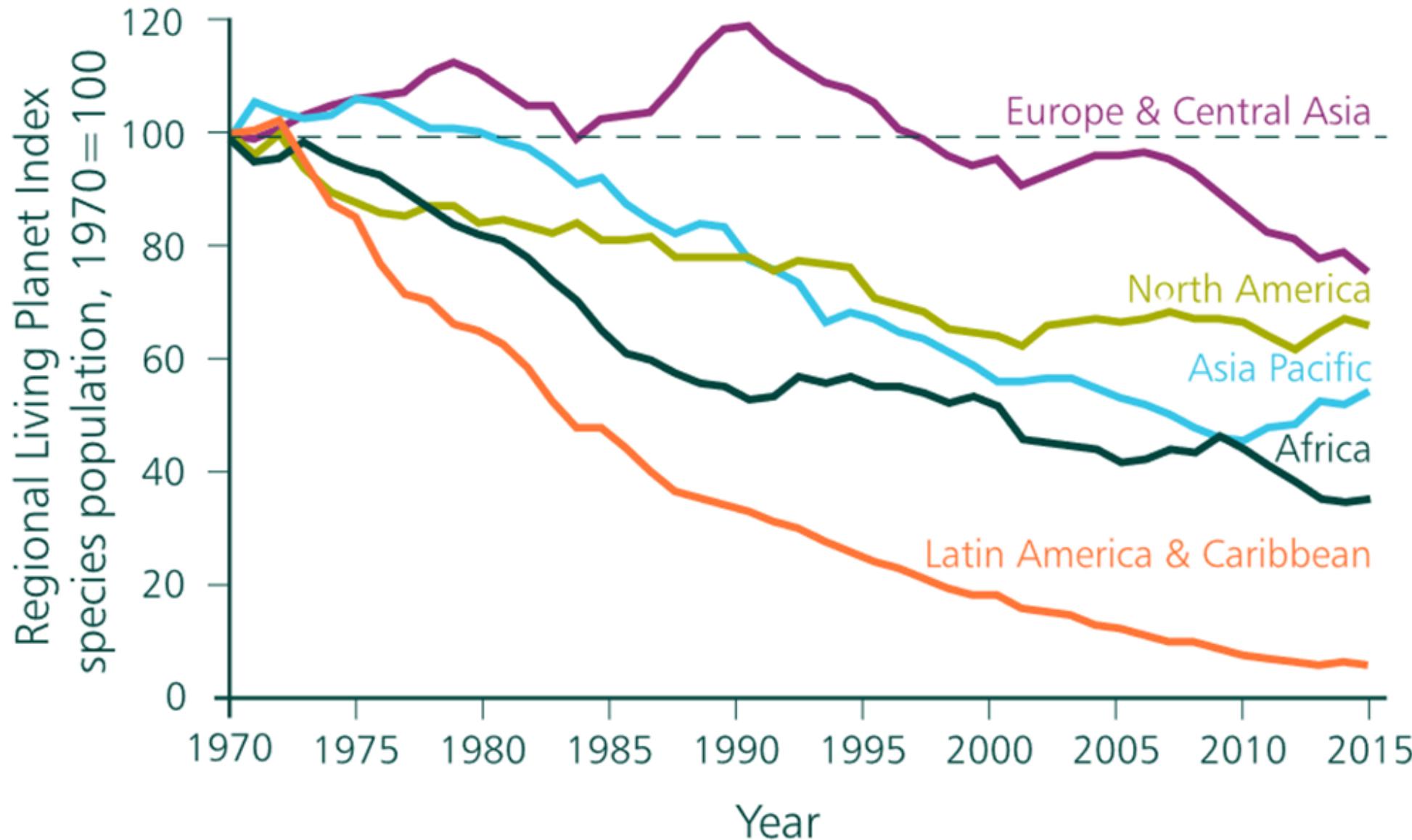
RESEARCH ARTICLE

More than 75 percent decline over 27 years in total flying insect biomass in protected areas

Caspar A. Hallmann , Martin Sorg, Eelke Jongejans, Henk Siepel, Nick Hofland, Heinz Schwan, Werner Stenmans, Andreas Müller, Hubert Sumser, Thomas Hörren, Dave Goulson, Hans de Kroon

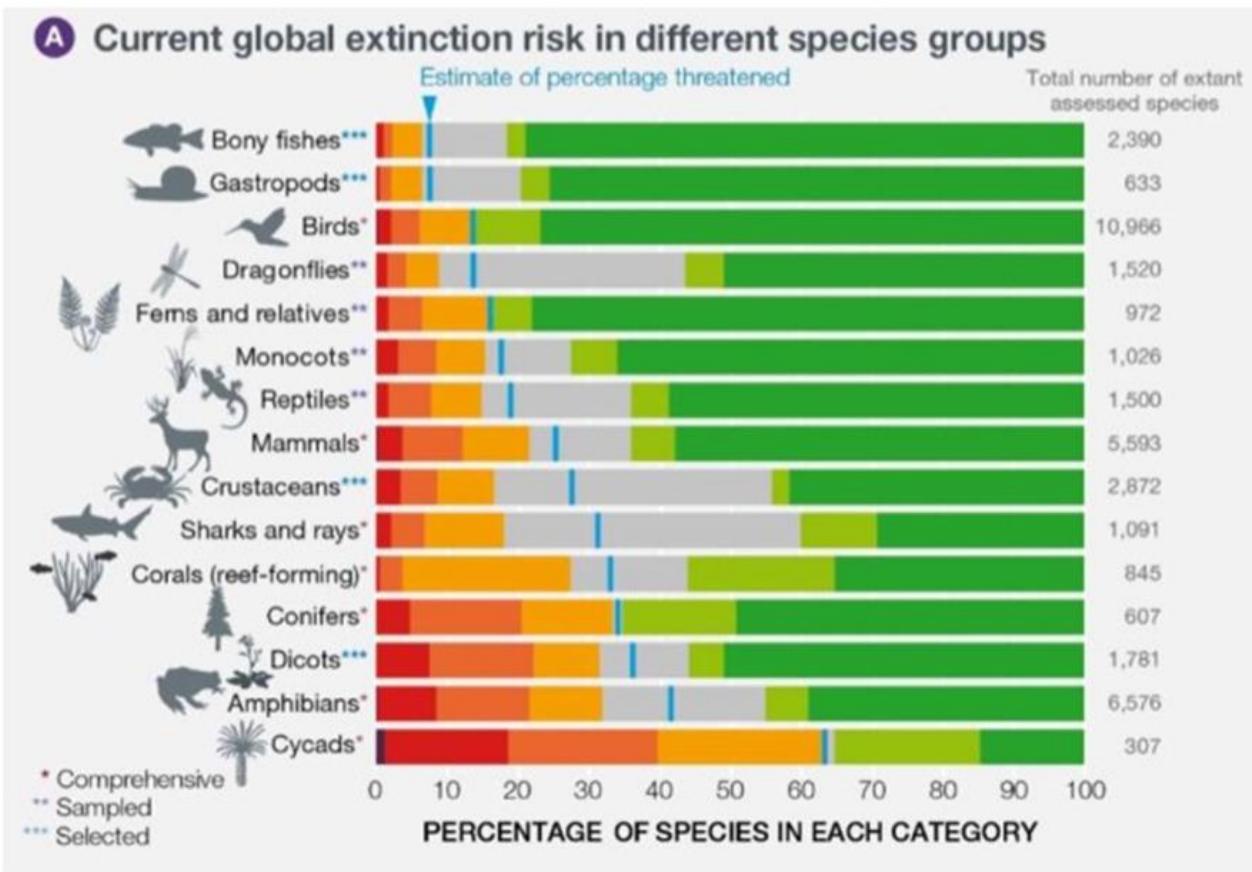
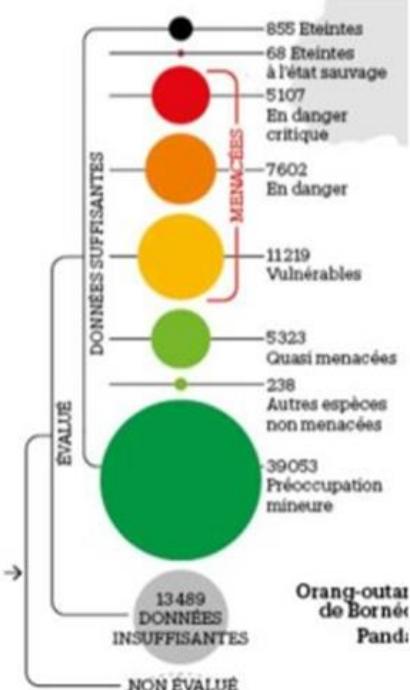
Published: October 18, 2017 • <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0185809>

Un effondrement global

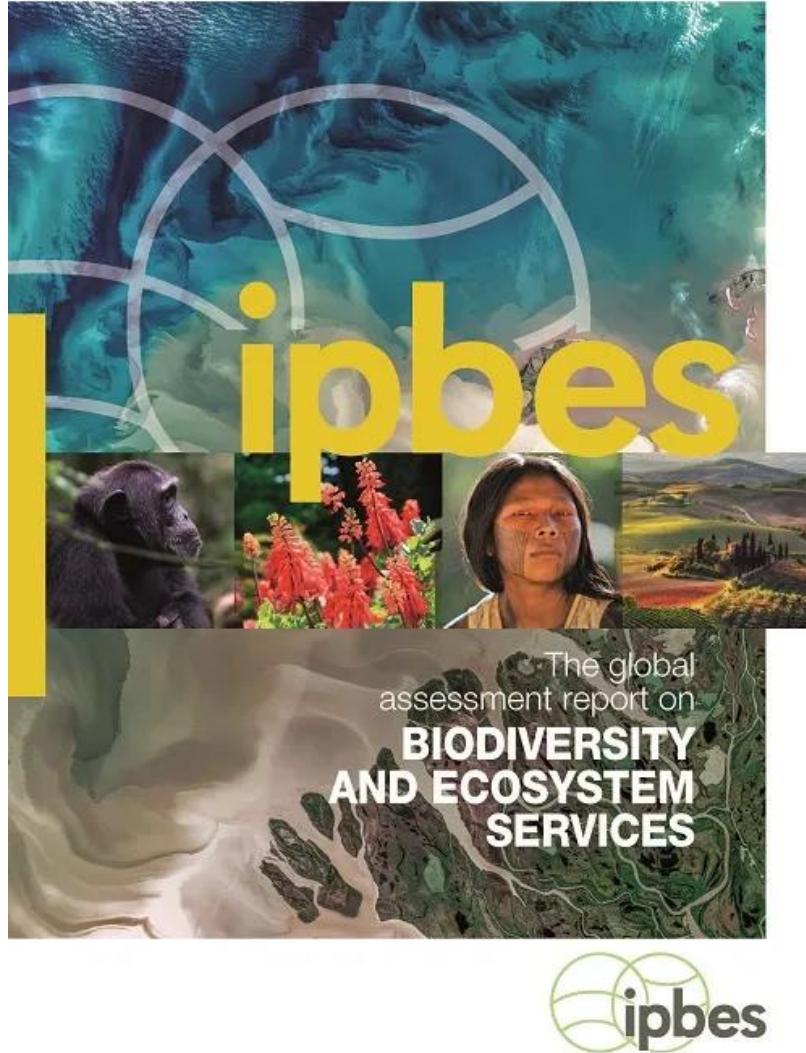


Les prévisions sont alarmantes

Environ **un million d'espèces d'animaux et de plantes** sont menacées d'extinction au cours des prochaines décennies, ce qui n'a jamais eu lieu dans l'histoire de l'humanité



Les cinq causes de la crise de la biodiversité



- Changement d'utilisation des terres
- Surexploitation des ressources naturelles
- Changement climatique
- Pollutions
- Espèces exotiques envahissantes

Les sociétés humaines reposent sur la biodiversité

Les écosystèmes ont de nombreuses “utilités” pour les sociétés humaines, on parle pour cela de **fonctions** et de **services écosystémiques**.

Les **fonctions** écologiques sont les processus naturels de fonctionnement et de maintien des écosystèmes, alors que les **services** sont les résultats de ces fonctions qui bénéficient aux humains.

Les sociétés humaines reposent sur la biodiversité

On distingue généralement quatre grands types de services :

- Services de supports (formation du sol, production primaire, etc)
- Services de régulation (cycle de l'eau, climat, inondations, pathogènes)
- Services d'approvisionnements (alimentation, matières premières, pharmacopée, etc)
- Services socio-culturels (art, spiritualité, etc).

Les conséquences de cette crise

L'érosion de la biodiversité affecte les fonctions des écosystèmes et donc les services écosystémiques sur lesquels reposent les sociétés humaines;

Tous les types de services sont concernés;

À l'échelle mondiale.

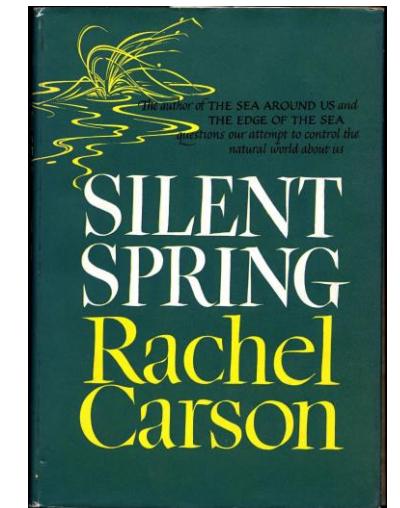
Histoire de la prise de conscience

- Protection de la nature débute réellement au 19ème siècle : Fontainebleau (1861), Yellowstone (1872);
- Années 1960 : premiers ouvrages spécifiquement dédiés à l'impact négatif de l'homme sur la nature (Carson 1962; Ehrlich 1968);
- 1992 : sommet de la Terre de Rio et ratification de la «Convention sur la Diversité Biologique» par 168 pays;
- 15 « Conference of the Parties » (COP) ont eu lieu depuis, la prochaine sera en 2024.

→ En Europe et en France, émergence de nombreuses lois



Convention on
Biological Diversity



ENR et Biodiversité font-ils bon ménage ?

Comme tout industrie, les ENRs ont des effets négatifs sur la biodiversité.

Hydroélectricité



- Destruction d'habitats naturels terrestres (parfois sur de très grandes surfaces)

Hydroélectricité



➤ Forte modification des habitats aquatiques

- Modification de la nature des fonds aquatiques (courants/lentiques)
- Succession des retenues modifie la morphologie du cours d'eau en amont des ouvrages
- Modification température et qualité de l'eau dans la retenue et en aval
- Ajustements géomorphologiques du cours d'eau en aval du fait du piégeage des sédiments en amont
- Diminution chronique des débits

Hydroélectricité



- Barrière à la migration
- Barrière au déplacement/connexion entre noyaux de populations



Hydroélectricité



- Barrière à la migration
- Barrière au déplacement/connexion entre noyaux de populations



A l'échelle internationale, l'expansion de l'hydroélectricité est identifiée comme une des **principales pressions grandissantes s'exerçant sur la biodiversité des cours d'eau.**

Photovoltaïque



- Perte sèche d'habitats naturels
- Fragmentation des habitats naturels amplifiée par les clôtures
- Perturbation du microclimat local



Photovoltaïque



- Attraction et désorientation de certaines espèces par lumière polarisée et « effet lac », ainsi que champs magnétiques
- Mortalité par collision (oiseaux, chiroptères) ou par brûlures par les flux solaires
- Intoxication par produits pour le traitement des panneaux mais aussi herbicides



Photovoltaïque



- Attraction et désorientation de certaines espèces par lumière polarisée et « effet lac », ainsi que champs magnétiques
 - Mortalité par collision (oiseaux, chiroptères) ou par brûlures par les flux solaires
 - Intoxication par produits pour le traitement des panneaux mais aussi herbicides
- ➡ **Aucun chiffre un peu globaux de cette pression**

Biomasse

- Destruction des habitats par conversion d'usage des terres (cultures énergétiques) ou accélération des rotations (forêts);
→ Effets connus mais impacts mal quantifiés
- Perturbation des écosystèmes par eutrophisation, hypoxie, pollutions par les intrants ou par l'épandage des résidus de digestats (méthaniseurs);
→ Effets mal connus

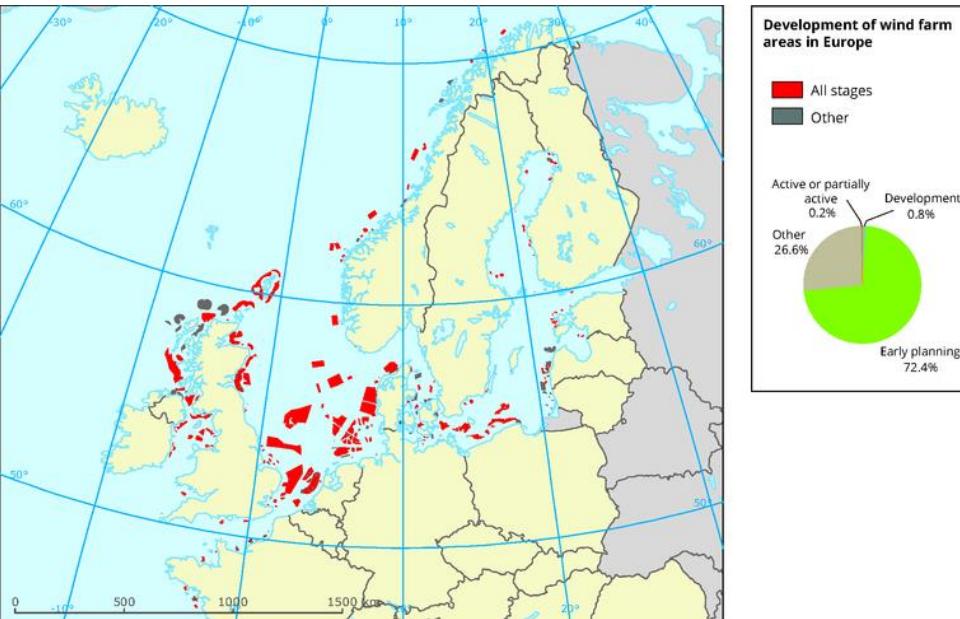
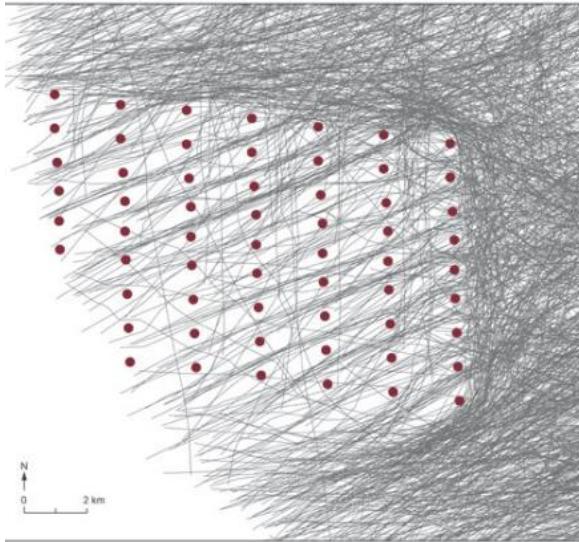
Effets directs des éoliennes: collisions



- Oiseaux et chauve-souris volent à hauteur des pâles (mais collision aussi avec les mâts & barotraumatisme)
- Pratiquement tous les groupes sont concernés
- Plusieurs centaines de milliers de collisions d'oiseaux par an aux USA
- 500.000 chauve-souris en Allemagne
- Conséquences très variables selon les espèces (stratégie démographique)



Effets indirects des éoliennes: effet « barrière »



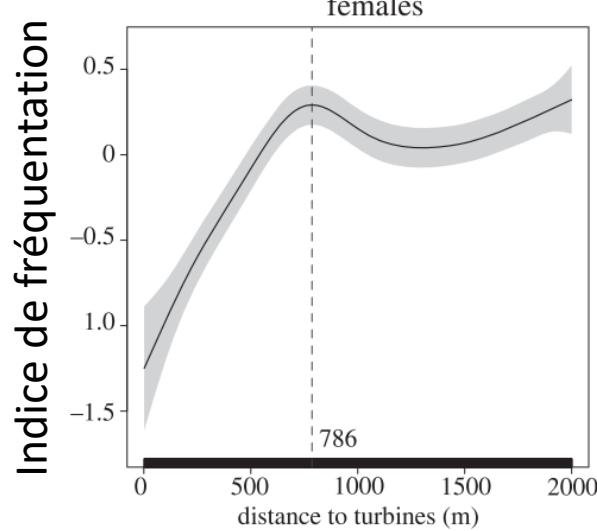
Effet « barrière » :

- Contournement des parcs éoliens
- Augmentation dépense énergétique
- Déstructuration des groupes d'individus

Effets indirects des éoliennes: habitats



Les espèces d'oiseau de milieu ouverts fuient les structures verticales



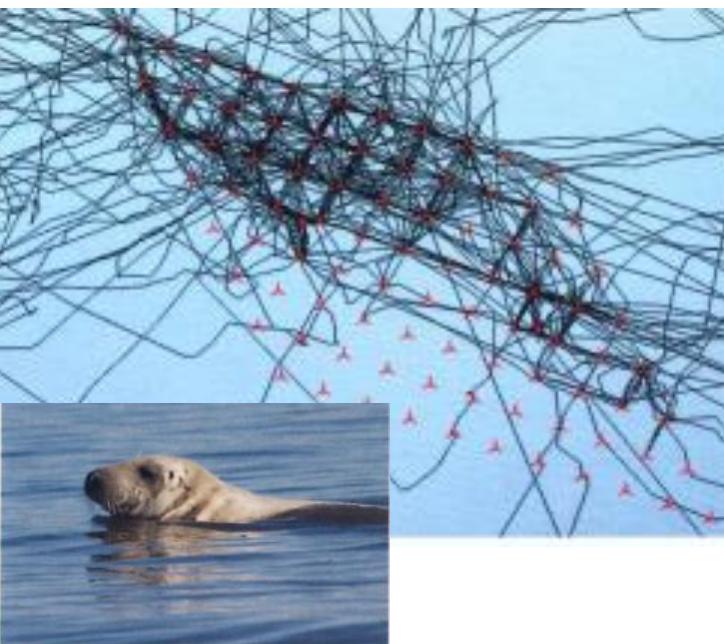
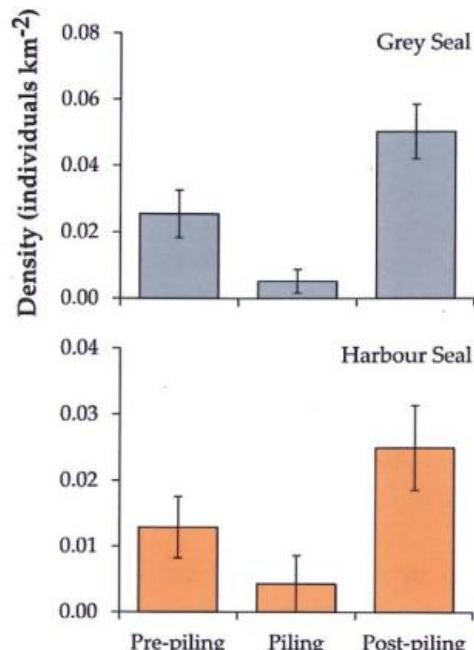
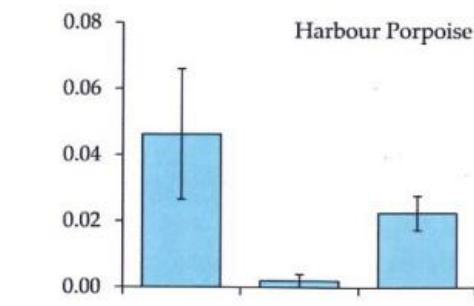
- Réduction habitat disponible
- Augmentation de la compétition
- Diminution du succès reproducteur

Milan noir: fréquentation diminue à proximité des éoliennes

Effets indirects des éoliennes: habitats

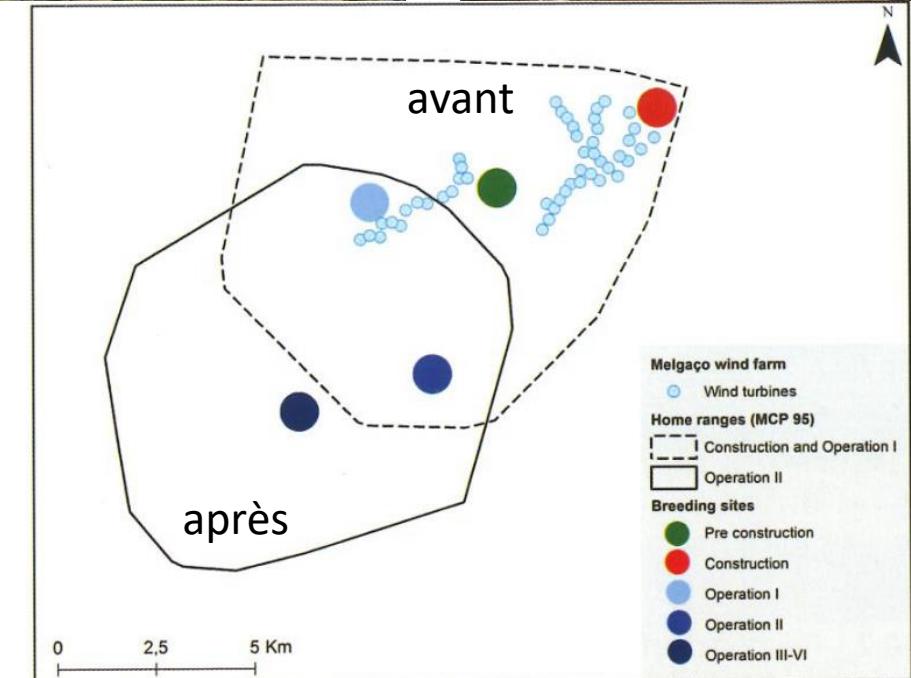
Mammifères marins

- Marsouin: baisse fréquentation des parcs éoliens
- Phoques : pêche les poissons dans les parcs éoliens



Mammifères terrestres

- loup: parc éolien en cœur de domaine vital
→ Déplacement domaine vital

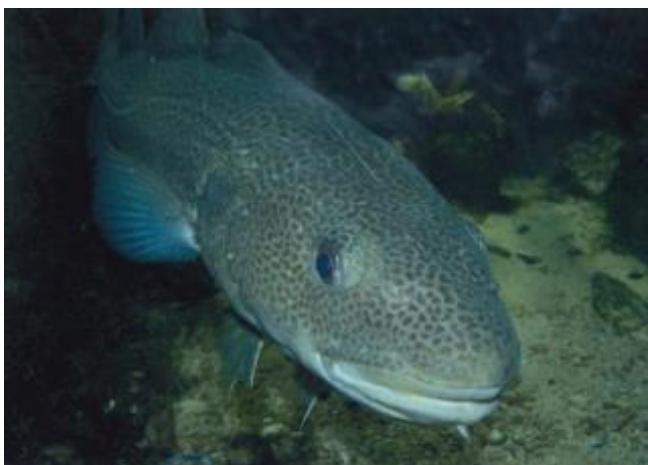


Effets indirects des éoliennes: habitats

1. Effet récif: substrat dur utilisé par algues et faune fixée



2. Effet réserve: réduction pêche industrielle au chalut
→ Attire poissons



3. Effet perchoir et garde-manger
→ attire oiseaux et phoques



Effets indirects des éoliennes: habitats

Effets mal connus sur poissons et mammifères marins:

- **Champs électromagnétiques?**
- Câbles sous marins

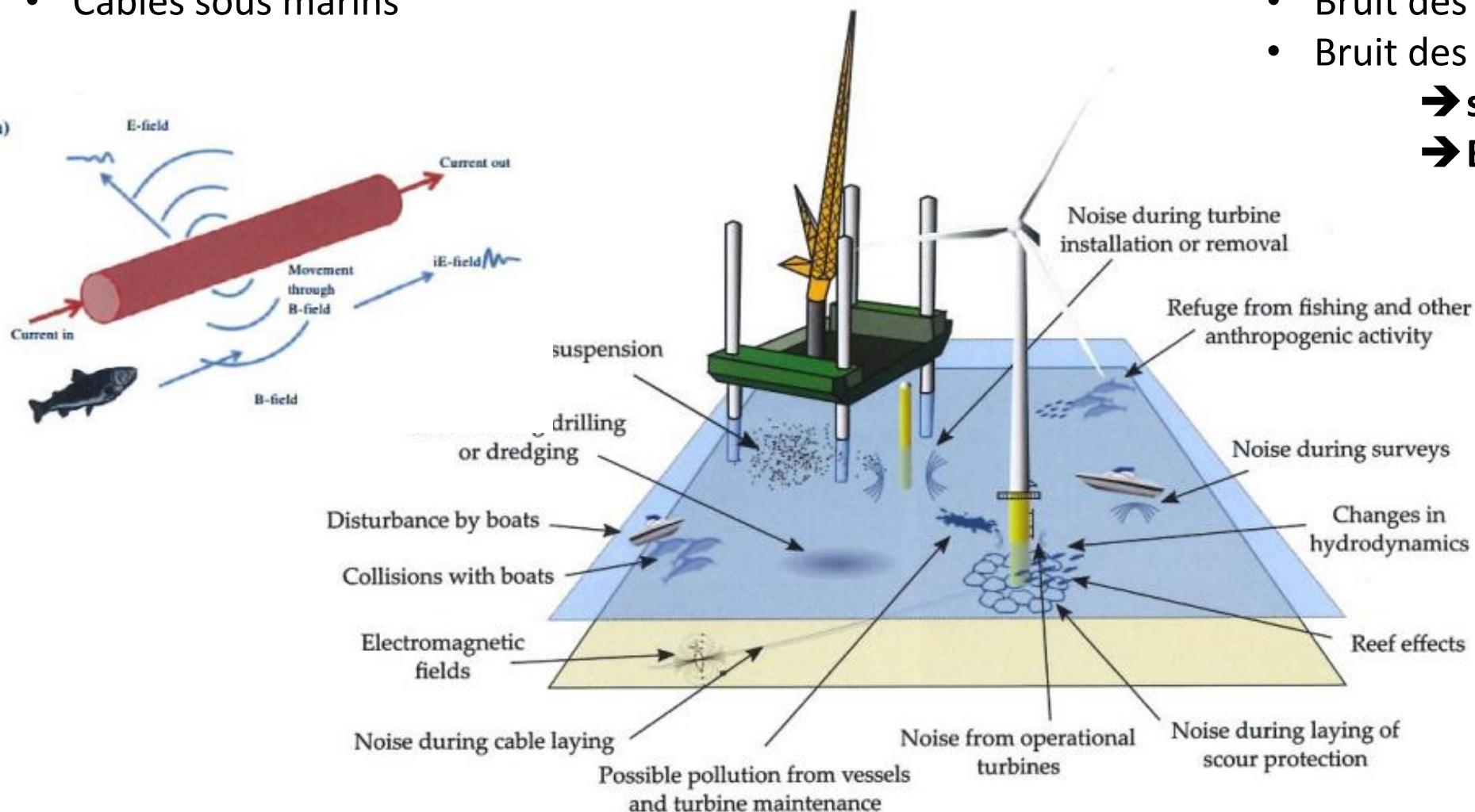
- **Bruit et vibrations ?**

- Percussion pour enfoncer les mats
- Bruit des turbines en opération
- Bruit des navires de maintenance

→ stress?

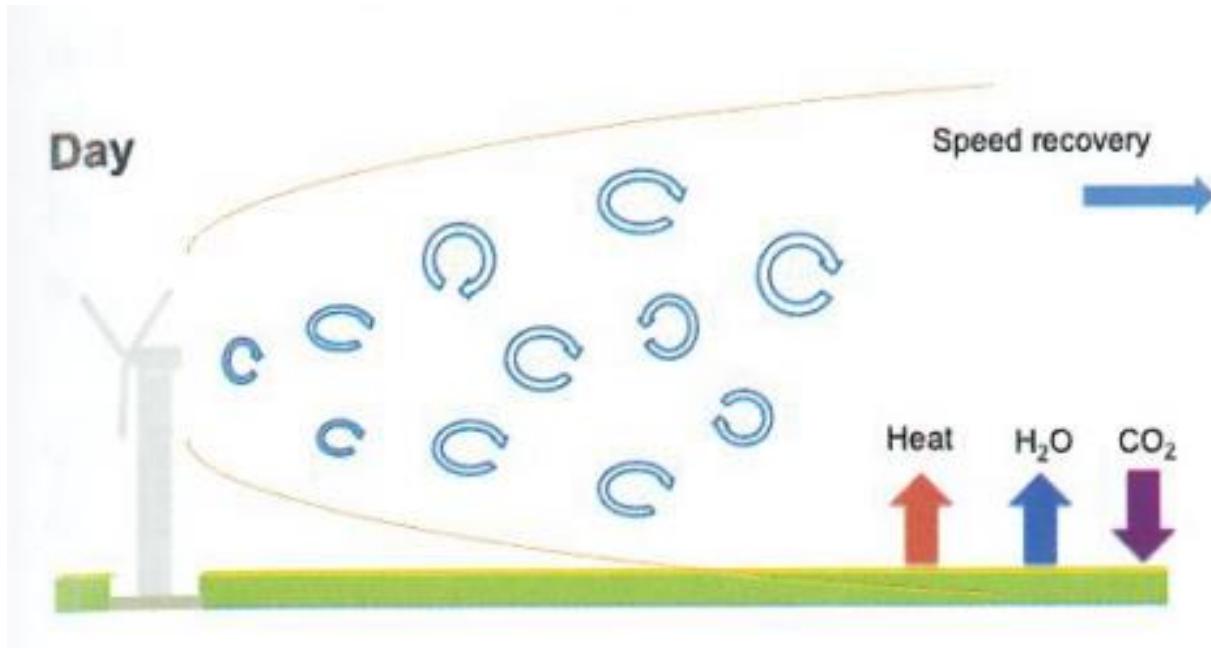
→ Blessures?

(a)



Effets sur environnement physique: air

- **Turbulences** générées par les éoliennes
 - Ralentissement du vent en aval éolienne
- **Modifications micro-climat local:**
 - Température: $+1^{\circ}\text{C}$ la nuit; -1°C le jour
 - humidité
 - Flux CO_2

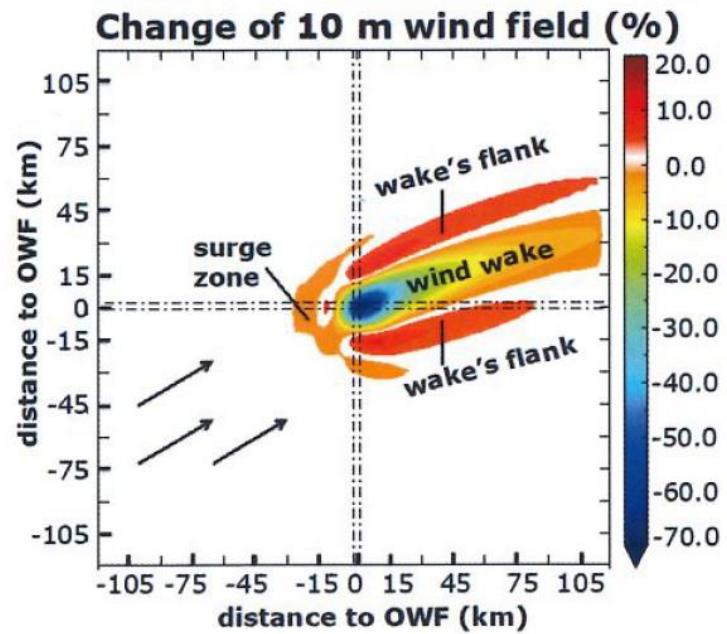


Horns Rev wind farm – Denmark
Photo by Bel Air Aviation Denmark - Helicopter Services

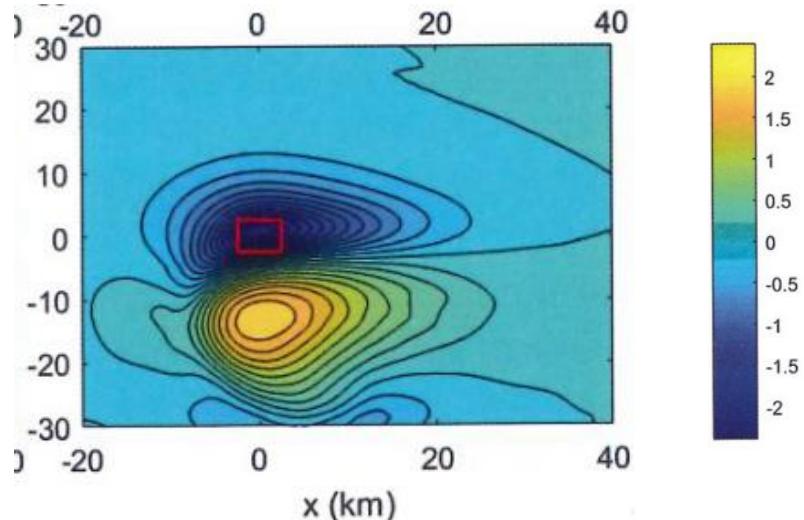


➔ Impact sur physiologie des plantes et communautés insectes

Effets sur environnement physique: mer - courants



Modification vitesse du vent sur >100 km



Upwelling (remontée d'eaux profondes) sur >10 km

- Modification distribution plancton
- Modification chaines trophiques

Effets sur environnement physique: mer - sédiments



Scroby Sands wind farm (UK)

- Modification courants
- Déplacements des sédiments
- Recouvrement de récifs

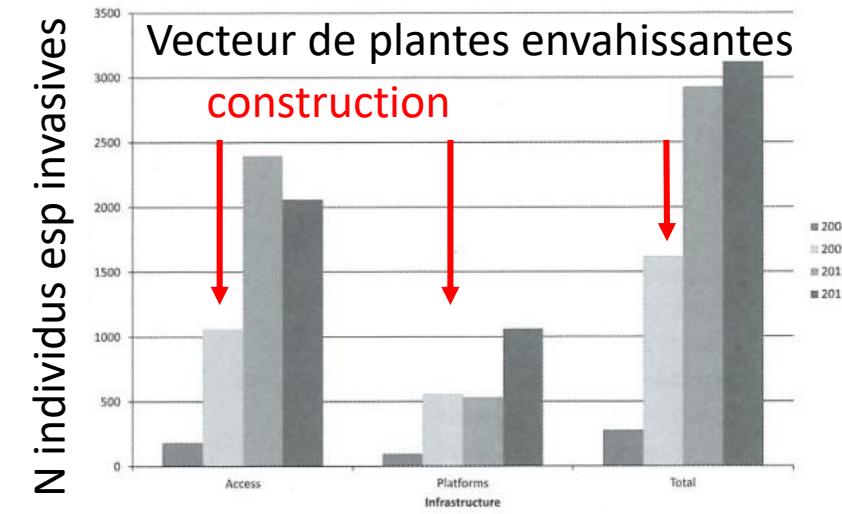


Modification en cascade dans
les chaînes trophiques

Effets sur environnement physique: sol et végétation



Défrichement



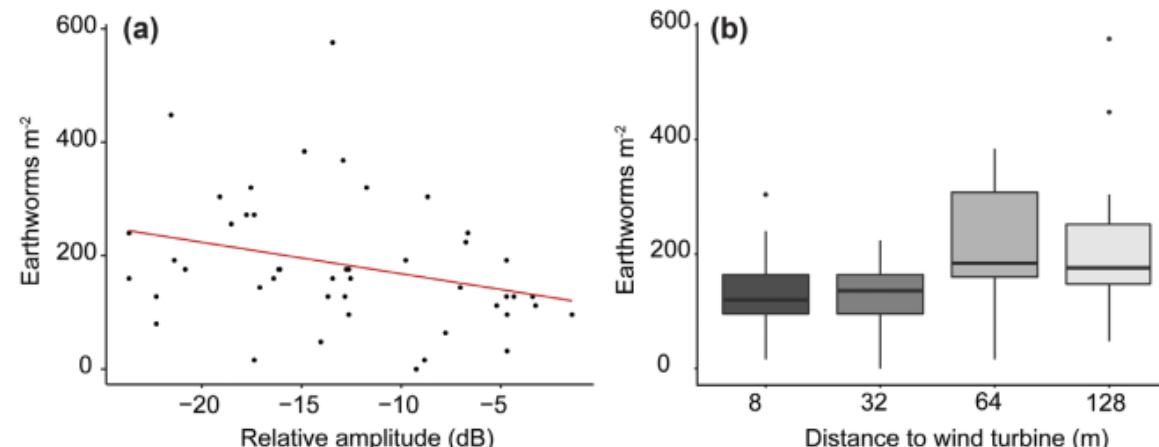
Vecteur de plantes envahissantes

construction

2006
2009
2013
2011



Vibrations et ondes sonores dans le sol → diminutions densités vers de terre



Synthèse des effets

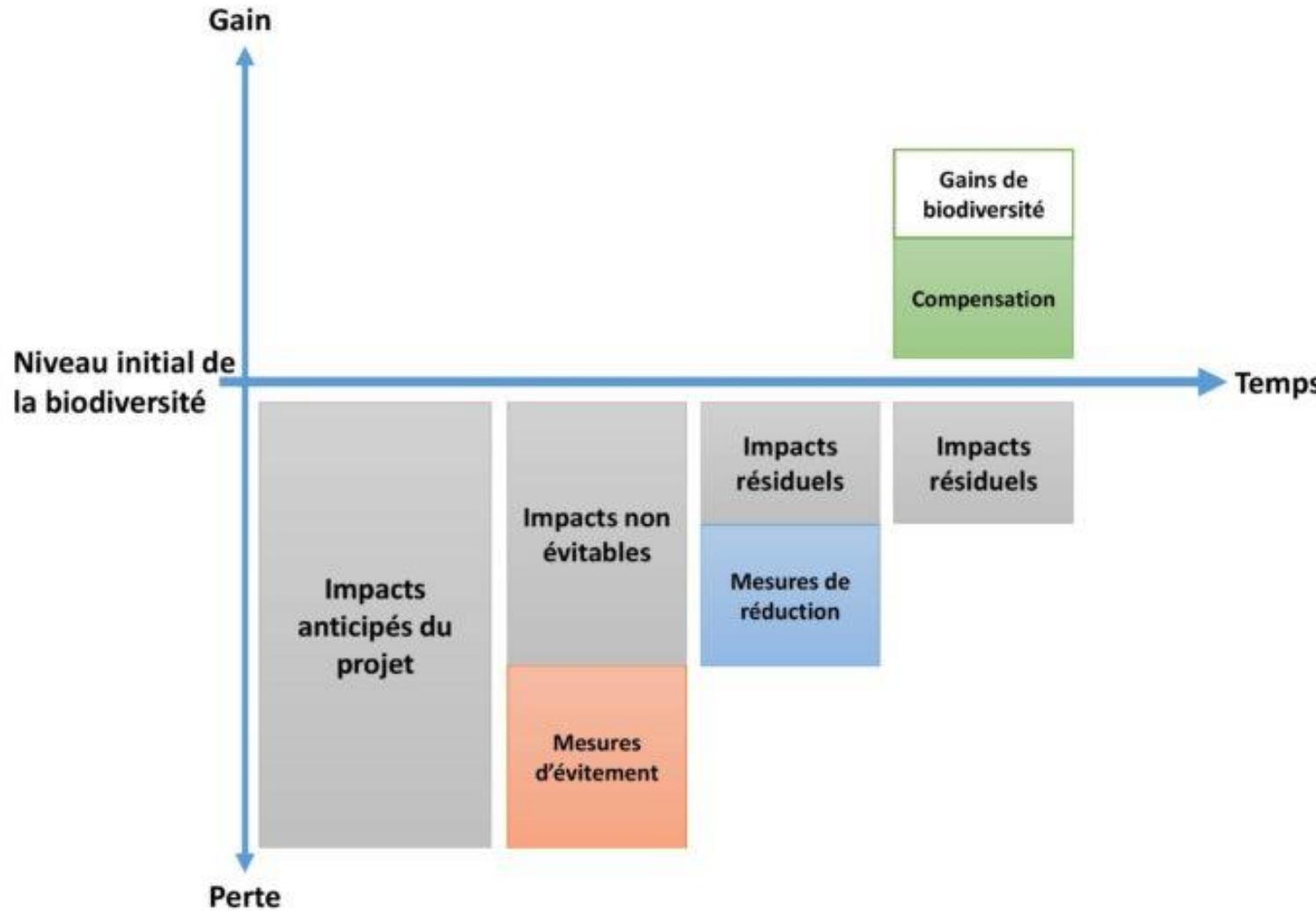
- Très divers
- Affectent tous les groupes biologiques
- Certains sont qualifiés mais souvent mal quantifiés
- Certains ne sont pas encore connus
- Peu de connaissances des conséquences (impacts) sur les populations de ces espèces (viabilité)

Green-Green Dilemma

- Les sociétés humaines font face à deux crises majeures (climat et biodiversité)
- Mise en place de politiques publiques pour chacune...
-mais ces politiques publiques entrent en opposition sur le terrain.

Des solutions? La Séquence « Eviter – Réduire – Compenser »

Loi de protection de la nature de 1976
s'appliquant aux espèces protégées (mais pas que en théorie).



La séquence ERC : Eviter

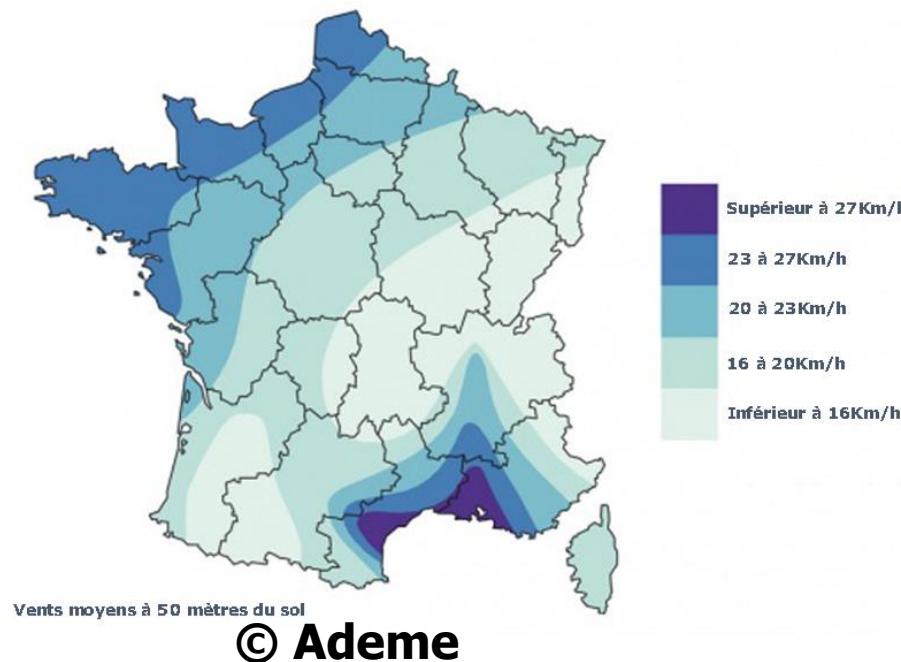
- Éviter l'installation dans zones à enjeux de biodiversité
 - Zones riches en biodiversité
 - Zones protégées
 - Couloirs de migration



La séquence ERC : Eviter

Conflit d'utilisation de l'espace Eolien/Biodiversité

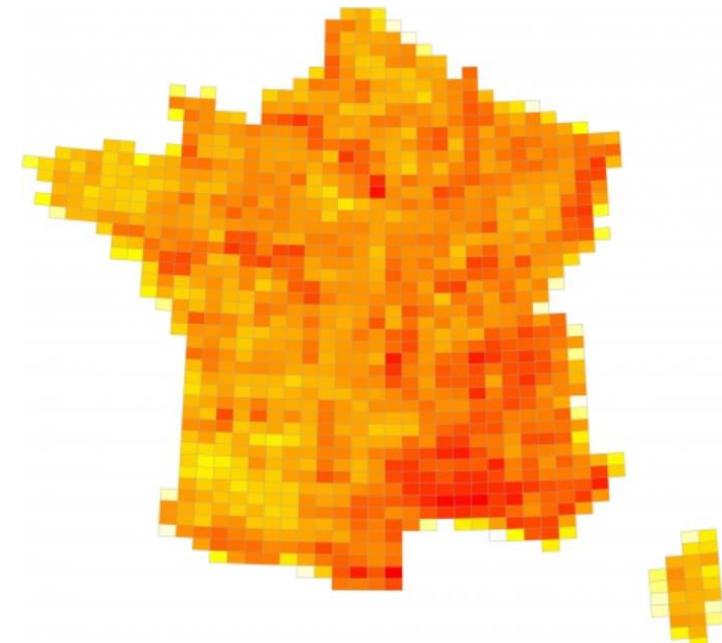
Potentiel de vent



Couloirs de migration



Des hot-spots de Biodiversité

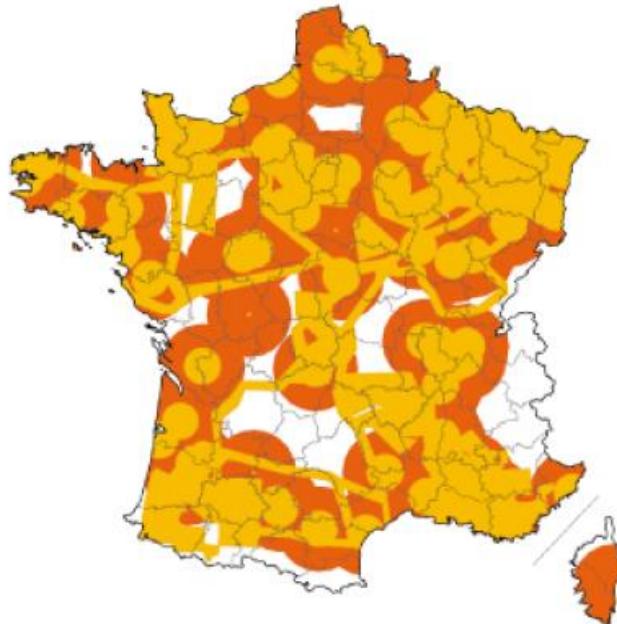


La séquence ERC : Eviter

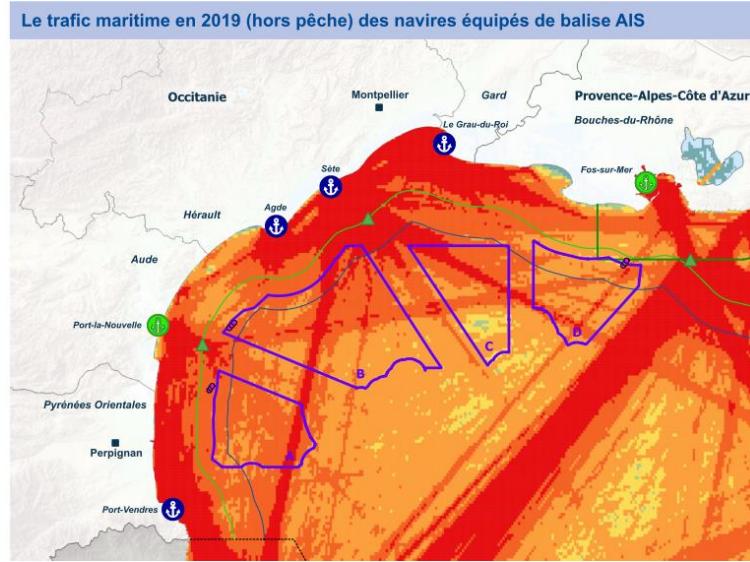
Conflit d'utilisation de l'espace Eolien/Humain...puis Biodiversité

TERRITOIRES CONCERNÉS PAR DES CONTRAINTES MILITAIRES ET NUCLÉAIRES EN FRANCE

■ Situation en 2016 ■ Projection en cas d'extension de la zone tampon des radars



SOURCE : DENIS MARÉCHAL POUR VALOREM (LE VENT NOUVEAU)



Actuellement il y a évitements:

- des zones où vivent les humains
- des zones à enjeu militaire
- des zones à enjeu aviation civile
- des zones à enjeu économique (pêche, trafic maritime...)



Zones naturelles
refuges biodiversité

La séquence ERC : Eviter



Installer les parcs dans des zones déjà artificialisées...

...plus complexe techniquement, moins de surfaces...

...moins rentable



Zones naturelles
refuges biodiversité

La séquence ERC : Eviter



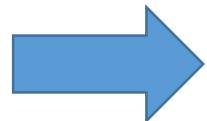
Micro-siting : Ajuster la localisation et la forme des infrastructures.



La séquence ERC : Eviter

Eviter les secteurs aux plus forts enjeux de biodiversité.
Optimiser des capacités de production existantes.

Réel besoin d'une planification spatiale du développement des ENRs tenant compte de la biodiversité.

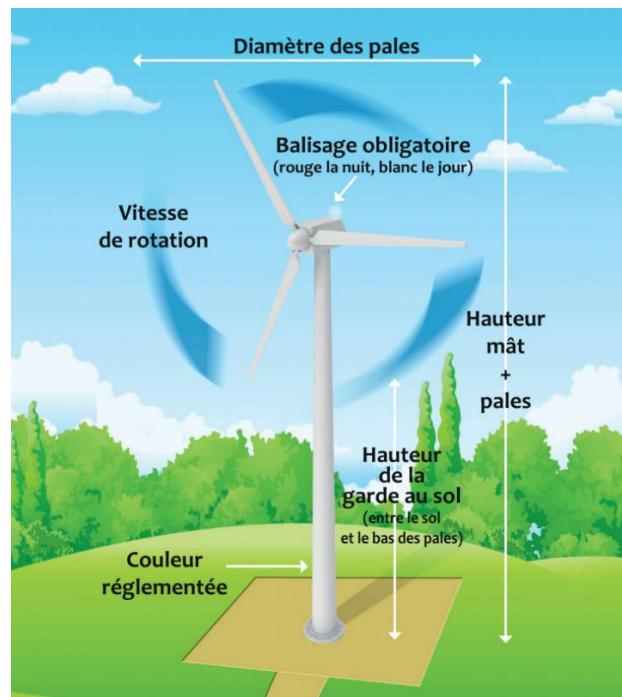


Rôle stratégique de l'Etat (planification, subvention ?)

La séquence ERC : Réduire

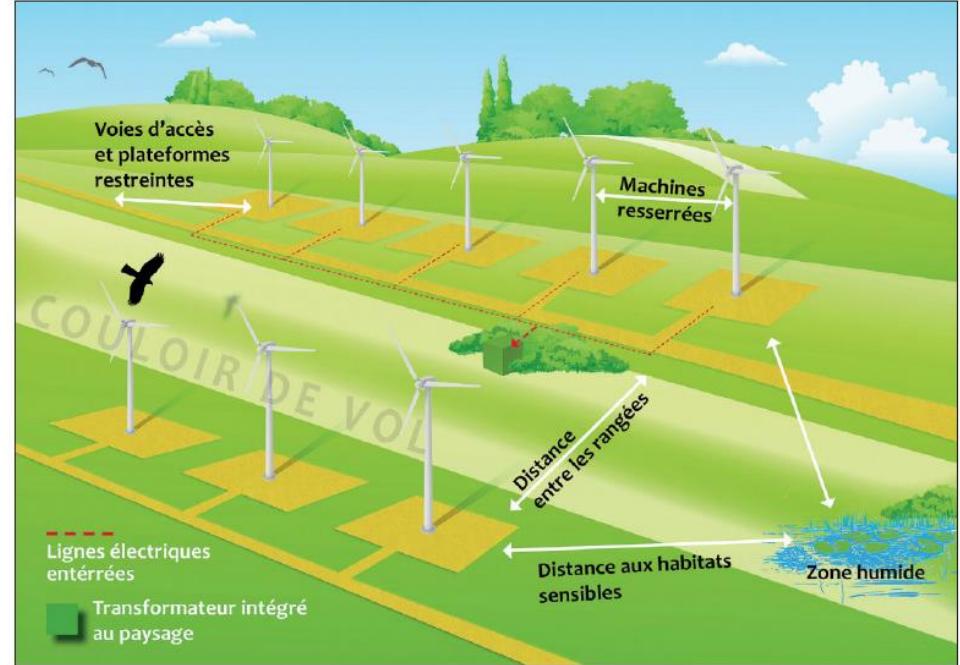
- Micro-siting

- Adapter la configuration du parc éolien pour permettre le déplacement faune volante



- Adaptation machines

- Garde au sol, diamètre
- Couleur, illumination...



La séquence ERC : Réduire

- Bridage pendant les périodes à risque – chauve-souris

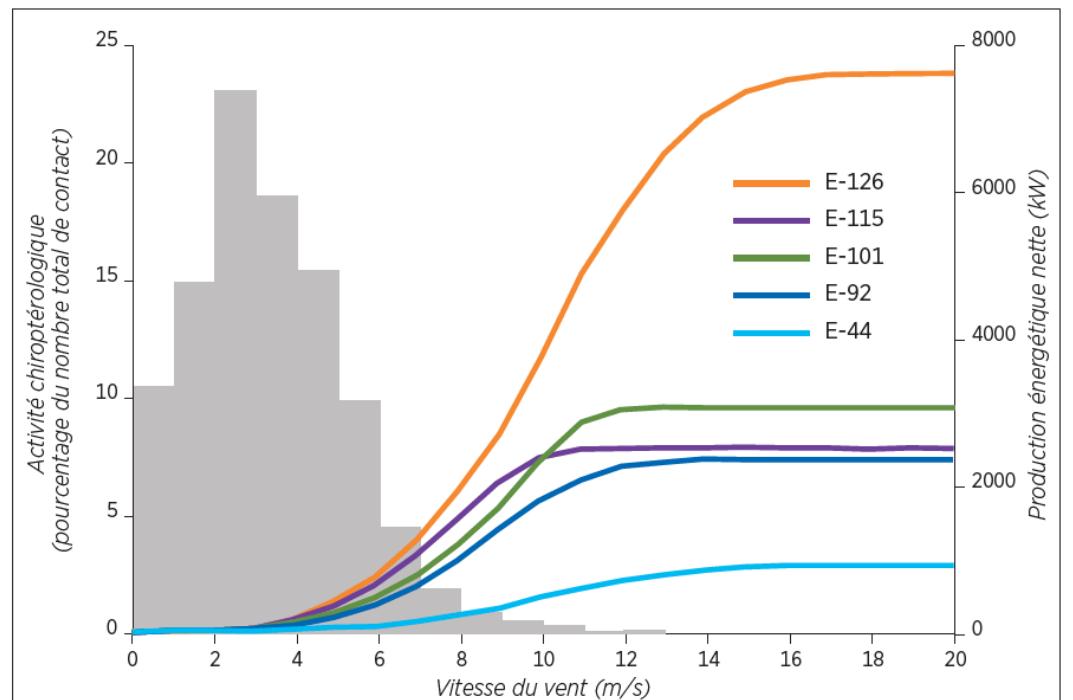
→ Bridage quand vents faibles car activité chauve-souris fortes alors que production faible

- -3% de perte de production en France (1-2% aux USA)

→ Très efficace, mais pas 100% efficace (varie entre espèces et entre sites)



Figure 17 – Superposition de l'activité chiroptérologique en hauteur et de la production énergétique nette de plusieurs modèles d'éoliennes (44 à 126 m de hauteur de nacelle) en fonction de la vitesse du vent d'avril à octobre 2011 et 2012 (Voigt *et al.*, 2015)



La séquence ERC : Réduire

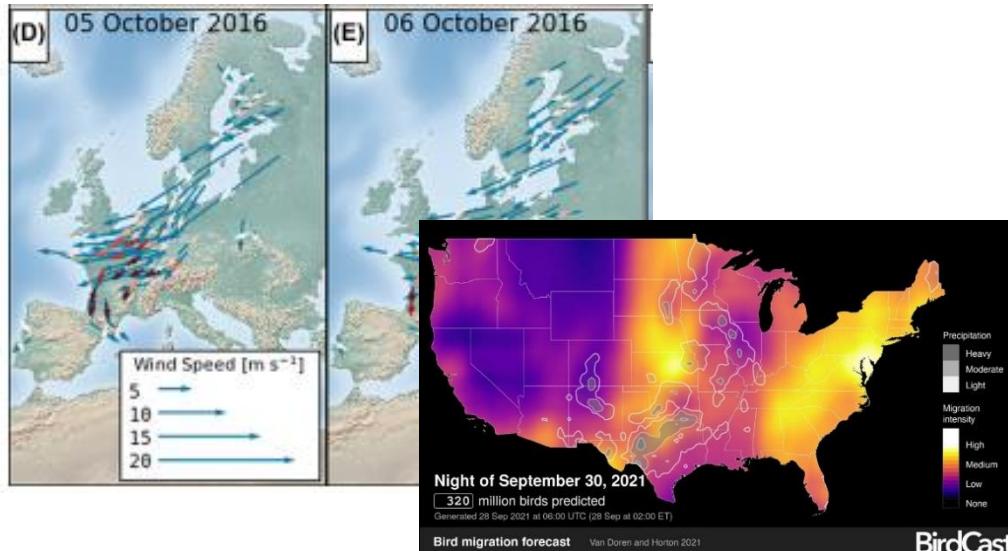
Bridge pendant les périodes à risque - oiseaux

Efficace mais perte de production → bien connaître les périodes à risque pour optimiser

Pendant migration

→ prédire les pics de migration (radars)

https://www.flysafe-birdtam.eu/composite_animation.html



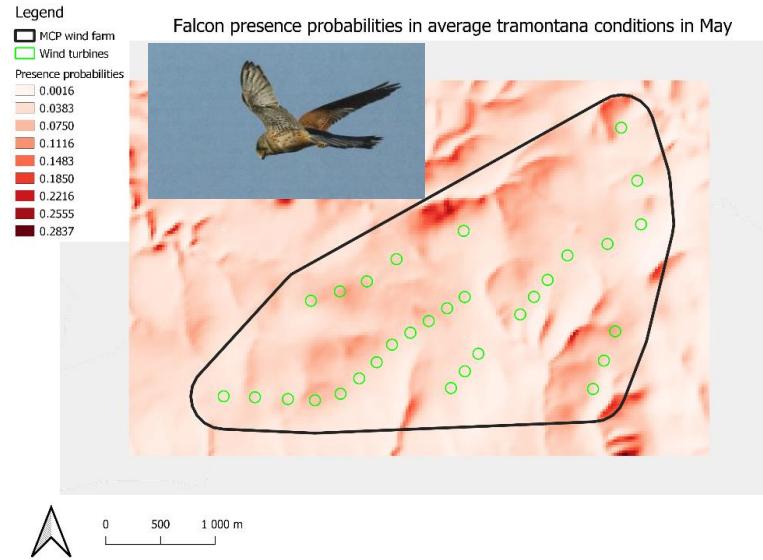
Outils pas disponibles en France

Pendant des travaux agricoles



Commence à être proposé mais peu de connaissances et difficile à mettre en oeuvre

Selon les conditions météo



Implique des connaissances très fines rarement disponibles

La séquence ERC : Réduire

Arrêt turbine quand un oiseau a une trajectoire à risque

→ Technologies pour détecter les oiseaux à distance



Radar+ Sentinelle humaine



Radar + intelligence artificielle



Caméra + intelligence artificielle

→ Efficacité encore mal documentée



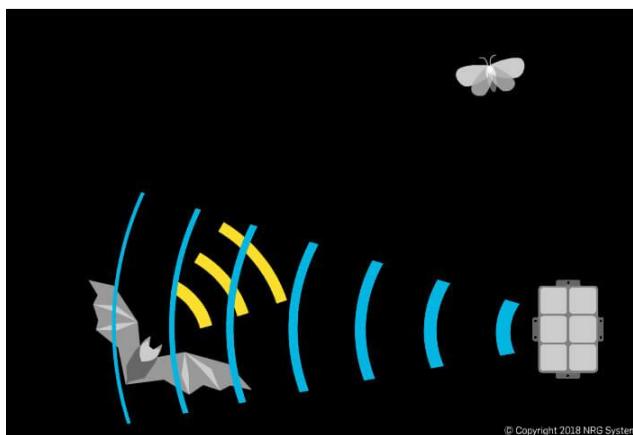
La séquence ERC : Réduire

Repousser les individus

Oiseaux:

Couplage des systèmes de détection avec de l'effarouchement sonore → émissions sons audibles puissants

- Efficacité ponctuelle mais limitée dans le temps par l'habituation
- Dérangement des habitants
- Blessures auditives oiseaux



Chauve-souris :

Emetteurs d'ultrasons saturant l'espace et repoussant les chauve-souris

- Efficacité très variable selon les espèces et distances d'émission très courtes (15m)
- Pas d'habituation?
- Blessures audition chiros?

La séquence ERC : Réduire

Repousser les individus

- Effarouchement visuel
- Rendre les éoliennes plus détectables
(May et al 2020)

Potentiellement efficace mais :

- A confirmer par études plus robustes
- Thèse C. Blary: perception des éoliennes par les oiseaux
- Problème d'autorisation en France (lié à l'aéronautique)
- Contradictoire avec réduction impact paysager



La séquence ERC : Réduire

Hydroélectricité

- Assurer des débits réservés (code de l'environnement)
- Passes à poissons



La séquence ERC : Réduire

Photovoltaïque

- Modifier l'organisation spatiale du parc et aménager les milieux (?)
- Utiliser des technologies qui modifieraient la polarisation de la lumière (?)

La séquence ERC : Compenser

Implique de :

- 1- Quantifier précisément les impacts sur les populations
- 2- Déterminer comment compenser ces impacts...

Conclusion

Le green-green dilemma n'est pas insoluble mais...

...besoin de (plus de) connaissances pour améliorer la conciliation du développement ENR/biodiversité...

...ne pas attendre que ces connaissances soient disponibles pour travailler à cette conciliation.

Les deux crises sont importantes, les deux sont rapides.



Merci de votre
attention

Aurélien BESNARD

aurelien.besnard@cefe.cnrs.fr

Centre d'Ecologie Fonctionnelle et Evolutive